DULATY UNIVERSITY
Taraz | since 1958

№ 2
2026

ISSN 2308-9865
e-ISSN 2959-7994

МЕХАНИКА және ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Ғылыми журналы

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

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

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#

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

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#

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

№ 2 (92)
Сәуір-маусым
2026 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. Жакулин, 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. Сагындыков, 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

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 30.06.2026. Форматы 70×180/16. Шартты баспа табағы 39,8. Тираж 300 дана. Тапсырыс 142.

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

Научный журнал

Издается с января 1994 года

Выходит четыре раза в год

ISSN 2308-9865
e-ISSN 2959-7994

№ 2 (92)
Апрель-июнь
2026 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. Жакулин, 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. Сагындыков, 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

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 30.06.2026. Формат 70×180/16. Усл. печ. л. 39,8. Тираж 300 экз. Заявка 142.

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. 2 (92)
April-June
2026

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

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 30.06.2026. Form 70×180/16. Cond. print. sh. 39.8. Edition 300 copies. Application 142.

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

Ешаева Э.Б., Таева А.М., Абдижаппарова Б.Т.
Жұмыртқа өндірісінен шектетілген тауық еті мен бройлер тауық етінің минералдық құрамын ICP-MS әдісімен салыстырмалы зерттеу 8

Байтуреев А.М., Ертаева Ж.А., Онлабекова А.Т., Мынбаева А.Б.
Оценка технологической пригодности природной соли месторождений Сарысуского района для производства пищевой поваренной соли 19

Мулдабекова Б.Ж., Якияева М.А., Ерметаева Ф.Т., Султанкул М.Б.
Композитті қоспалардың созылмалы печеньенің физико-химиялық сапасына әсерін кешенді бағалау 30

Тултабаева Т.Ч., Жакупова Г.Н., Макангали К.К., Сағандык А.Т., Мулдашева А.Х., Ахметжанова А.Т., Даирова Қ.Ш.
Пастерлеу режимдерінің аралас сүт қоспаларына әсерін зерттеу 40

Қайсарова А.А., Шингисов А.У., Садибаев А.К., Кенжеханова М.Б.
Ас тұзы төмендетілген ет чипстерінің тиімді рецептурасын Box–Behnken әдісімен модельдеу 54

Зулпыхарулы А., Ануаркызы Л.
Шыңжан өлкесіндегі Алтайдың қызғылт түсті қой тұқымының ет өнімділік ерекшеліктері 63

Таева А.М., Бейсембаева А.Х., Абильмажинова Н.К., Курманбекова А.К., Абсалимова М.А.
Исследования физико-химических и микробиологических показателей фортифицированных колбасных изделий 73

Байғайыпқызы М., Искакова Г.К., Байысбаева М.П., Изембаева А.К., Батырбаева Н.Б.
Көп дәнді ұннан дайындалған кондитерлік өнімдер-маффиндердің сапалық сипаттамаларын зерттеу 88

Moldakarimov A.A., Iztayev A.I., Muslimov N.Zh., Shakhov S.V., Kenzhekhodzhayev M.D.
Development of technology for the production of functional beverages from germinated grain 98

Узаков Я.М., Қалдарбекова М.Ә-А., Вострикова Н.Л., Топаева А.Т., Авылов Ч.К.
Балаларға арналған ет консерві өнімдерін өндірудегі куттерлеу процессін оңтайландыру 106

Маликтаева П.М., Мынбаева А.Б., Саржанова К.Ш., Маралбай М.С.
Жарма түрлерін өңдеуге және престеуге әсерін тигізетін негізгі физикалық және механикалық қасиеттерін анықтау 117

Смагулова А.К., Таева А.М., Есенгазиева А.Н., Кузембаева Г.К.
Оценка пищевой и технологической ценности рыбных котлет с растительной добавкой 128

Баядилова А.А., Абдилова Г.Б., Бекбаев К.С., Байчиева К.С., Арын А.Б.
Молекулярлық сутектің жүзім қабығынан биоактивті заттардың бөлінуіне әсері 137

Минатбек Ұ., Есенгазиева А.Н., Тлевлесова Д.А., Ахметова Н.К.
Глютенсіз, гликемиялық индексі төмен нан технологиясын әзірлеудің ғылыми негіздері 147

Аубакиров Х.А., Бутаев М.Д., Сулейменова М.Т., Кенжеходжаев М.Д., Даулетбекова А.Т.
Түркістан облысы Сайрам ауданындағы ет өнімі өндірісі және оның қалдық өнімдерін өңдеу мәселелері 161

ЖЕҢІЛ ӨНЕРКӘСІП ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ

ТЕХНОЛОГИИ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

LIGHT INDUSTRY TECHNOLOGIES

Zhanguzhinova M.Ye., Talgatbekova A.M., Omarbekova M.T., Issabekova L., Aldanayeva T.
Quraq technology in the context of Kazakhstani Zero Waste design and eco-production 172

Мыңбатырова Л.Ә., Мирзамуратова Р.Ш.
Современные тенденции в использовании природных красителей с антимикробными свойствами в текстильной промышленности 182

Максудова Д.Т., Турсунова Д.К., Ибрагимова Н.У.
Разработка новой конструкции обуви для медицинских работников и оценка её эргономических показателей по результатам опытной эксплуатации 197

Арыстанова Г.Б., Сарттарова Л.Т., Езиева М.М.
Жасөспірім-әскери қызметшілерге арналған нысанды киімнің эргономикасы мен функционалдығы: антропометриялық зерттеулер негізінде жобалау тәсілдері 207

Burkitbay A., Tashpulatov S.Sh., Tleulinova I.B., Qaldybek Q.Zh.
Development and investigation of antimicrobial textile materials based on plant extracts and biopolymers 221

Кенжибаева Г.С., Сихимбаева М.Т.
Кілем тоқыма өндірісінде өртке төзімді модификацияланған жіптерді шығару технологиясын зерттеу 231

Sarybayeva E.E., Tashmukhamedov F.R., Makhanbetalieva K.T., Dzhurinskaya I.M., Absalimov A.A., Bakirova L.
Integrated structural and chemical analysis of yarn for compression knitwear for therapeutic purposes 245

Келесова У.С., Жаппарова А.К., Джиембетова И.С.
Сән индустрия өнімдерінде этникалық стильдегі аксессуарлар дизайнының композициялық құрылымын талдау 255

ҚҰРЫЛЫС ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

CONSTRUCTION TECHNOLOGIES

Чалы С.И., Корнилова А.А.
Архитектурная среда дворовых пространств города Астаны 263

Бекбасаров И.И., Атенов Е.И., Шаншабаев Н.А.
Динамический метод оценки несущей способности сваи и ростверка, устроенного в выштампованном котловане 279

Сағындықов А.А., Сулейменов Ж.Т., Карымсаков Б.А., Алимкулова Д.Ғ.
Суперпластификатор және ұшпа күл қоспалы ұсақ түйіршікті гидротехникалық бетондар 315

Бровко И.С., Аубакирова Ф.Х., Досалиев К.С., Дуйсенбеков Б.К., Сыпабекова Г.Ж.
Основы безопасного строительства на динамически разжижаемых грунтах Республики Казахстан 324

Бекбасаров И.И., Суйеншбаева К.Т.
Об определении параметров поликомпонентных грунтовых материалов 342

Нурымбетова Р.У., Риставлетов Р.А., Сузев Н.А., Калшабекова Э.Н., Камбаров М.А., Кудабаев Р.Б., Орынбасаров А.К.
Математическое моделирование влияния заполнителей на основе отходов горнодобывающих предприятии на физико-механические свойства тяжелого бетона 358

Kwarciński P.
On the bearing capacity of Larsen sheet piles under static compressive load 377

ХИМИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

CHEMICAL TECHNOLOGIES

Мусабекова Л.М., Тажибаева Б.Т., Торланова Б.О., Оспанова Г.С.
Компьютерная модель осаждения полидисперсных суспензий в проточных системах 385

Сырманова К.К., Тұрлыбек Ғ.А., Дәуренбек Н.М.
Полимер-битумды байланыстырғыштардағы пластификатордың рөлі 399

Азимов А., Изтлеуов Г.М., Болысбек А.А.
Дифференциалды термогравиметриялық әдіспен каолин, акриламид және крахмал негізінде алынған гидрогельдердің қасиетін талдау 418

Баданова Р.Р., Баданов К.И.
Активтендірілген су ортасының қасиеттерін зерттеудің физика-химиялық әдістері 427

Казаринов И.
Физико-химические свойства и механизмы адсорбции композитов на основе бентонита и углерода, полученного из древесных опилок 439

Murzakasymova N.S., Shevtsova V.V., Abdrakhman D.S., Kantarbayeva S.M., Aidaralieva K.S.
Modification of coal-based sorbents for the purpose of removing heavy metals 448

АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

INFORMATION TECHNOLOGIES

Krahmaleva Yu.R.
Evaluation of functions with matrix arguments in a computational mathematics system 454

ҒТАМР 65.59.03

Э.Б. Ешаева[1] – *негізгі автор*, ©
А.М. Таева[2], Б.Т. Абдижаппарова[3]

[1]PhD доктарант, [2]Техн. ғылым. д-ры, профессор, [3]Техн. ғылым. канд.,доцент

ORCID *[1]https://orcid.org/0009-0002-6981-7708 [2]https://orcid.org/0000-0001-6663-4282 [3]https://orcid.org/0000-0002-1600-9275*

[1,3]М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан
[2]Алматы Технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан

@ *[1]nurkasim_nurai@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/FTSJ4917

ЖҰМЫРТҚА ӨНДІРІСІНЕН ШЕКТЕТІЛГЕН ТАУЫҚ ЕТІ МЕН БРОЙЛЕР ТАУЫҚ ЕТІНІҢ МИНЕРАЛДЫҚ ҚҰРАМЫН ICP-MS ӘДІСІМЕН САЛЫСТЫРМАЛЫ ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Ет саласының өзекті мәселесінің бірі ақуызды шикізат қорын тиімді пайдалану, өңдеу өндірістерінде шикі ет ресурстарының тапшылығының орнын толтыру үшін жұмыртқа өндірісінен шектетілген тауық етін ұтымды пайдалану шешімдерін қарастыру. Зерттеудің мақсаты тауық еттерінің минералдық құрамын анықтау, ет өндірісі мен жұмыртқа өндірісінен шектетілген тауық етінің макро-микроэлементтерінің көрсеткіштерін салыстырмалы бағалау. Зерттеу барысында «Сарыағаш құс» ЖШС-нің өндірістен шектетілген тауықтың, бақылау үлгісі ретінде ет өндіру бағытындағы «Алель-Агро» АҚ-ның тауық ұшаларының сирақ, төс, сан еттерінің минералдық құрамы ҚР СТ ИСО 17294-2-2006 Varian-820MS бойынша индуктивті байланысқан плазмасы бар масс-спектрометрде зерттелді. Тауық еттерінің құрамында натрий, магний, фосфор, калий, кальций макроэлементтері және алюминий, мырыш, кремний микроэлементтері бар екені келтірілді. Жұмыртқа өндірісінен шектетілген тауық ұшасының сирақ етінде салмақтық % бойынша Na – 7,16; Mg – 2,85; K – 25,96; төс етінде Na – 5,35; Ca – 1,24; сан етінде P – 17,42; K – 28,71; Mg – 2,55 мөлшері ет өндірісі бағытындағы тауық етінің құрамымен салыстырғанда жоғары екенін көрсетті. Екі бағыттағы еттердің құрамындағы маңызыды макро- және микроэлементтердің бір-бірінен айырмашылығы шамалас.

Тірек сөздер: жұмыртқа өндірісінен шектетілген тауықтың сан еті, төс еті, сирақ еті, макро-микроэлементтер.

Ешаева, Э.Б. Жұмыртқа өндірісінен шектетілген тауық еті мен бройлер тауық етінің минералдық құрамын ICP-MS әдісімен салыстырмалы зерттеу [Мәтін] / Э.Б. Ешаева, А.М. Таева, Б.Т. Абдижаппарова // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №2(92). – Б.8-18. https://doi.org/10.55956/FTSJ4917

Кіріспе. Ғалымдардың алдында тұрған өзекті мәселелерінің бірі – ақуызды шикізат қорын тиімді пайдалану. Құс шаруашылығы – әлемдік және отандық агроөнеркәсіп кешенінің жүйелі дамуы және ғылымы кең ауқымды саласы.

Әлемде барлық жануар еттерінің құрылымында құс еті шошқа етінен кейін екінші орынға ие. ФАО деректері бойынша 2011-2025 жылдар

аралығында еттің жыл сайынғы өсу көрсеткіші: құс еті бойынша – 3,1%, шошқа еті – 2,6, сиыр еті – 1,3 және жануарлардың басқа түрлері бойынша – 0,2% құрады. Құс етін өндіру бойынша жетекші елдер – АҚШ, Қытай, Бразилия және Ресей [1,2].

Қазақстанның тамақ және қайта өңдеу өнеркәсібінде құс шаруашылығы ерекше орын алады, өйткені құс еті мен жұмыртқа әлеуметтік маңызы бар азық-түлік тауарларының тізіміне енгізілген. Басқа ет түрлерімен салыстырғанда тауық еті төмен бағамен және адам ағзасына оңай сіңімділігімен ерекшеленеді. Сондықтанда құс етінің тұтыну қоржынында басым болуының себебі де осында. Қазақстандағы құс еті нарығының жүйелі дамуы 2020-2024 жылдар аралығында тұрақты оң өзгерістерді көрсетеді. Құс етінің өндірісі 2020 жылы 225 322 тоннадан 2024 жылы 333 646 тоннаға дейін ұлғайып, 48%-ға өсті. Импорт 2020 жылы 182 505 тоннадан 2024 жылы 132 069 тоннаға дейін тұрақты төмендеп, 28%-ға азайды [2,3]. Дегенмен бұл көрсеткіш еліміздің тұрғындарының құс етін тұтынуының 69% ғана қамтиды.

Қазіргі таңда жаһанда құс етіне сұраныс ұдайы өсіп, өндірістік қуаттан асып түсуде, сондықтан тұтынушылық сұраныстың жоғарылауын шешудің бірі ет өнімдерін өндіру өнеркәсібі үшін жұмыртқа бағытындағы өндірістен шектетілген тауық еттерін пайдалану жолдары іздестірілуде. Дүние жүзінде бұл бағыт жеткілікті түрде шешімін таппаған, сондықтанда жұмыртқа өндірісі бағытындағы тауық етінен, ет өнімдерін өндіру бойынша зерттеулер жүргізу ұсынылады.

Әлемде және Қазақстанда тауық жұмыртқасын өндірумен айналысатын кәсіпорындардың саны мен өнімділігі жыл сайын артып келеді, 2021 жылы жаһанда жұмыртқа өндірумен айналысатын кәсіпорындардың әлемдік өндірісі 86,3 миллион тоннаға жетті [4]. Қытай жұмыртқа өндірісі бойынша жаһандық өндірістің 35%-ға жуығын қамтамасыз ететін ең ірі өндіруші ел, ал Еуропа Одағы әлемдік өндірістің 6% үлесімен төртінші орынға ие. Жұмыртқа өндірісі бойынша жетекші елдер мен Қазақстан халқы жұмыртқа өнімдерімен қамтамасыз етілгенімен, жұмыртқа өндірісінен шектетілген тауық етін ұтымды пайдалану мәселесі әлемде арнайы технологиялардың жоқтығынан шешімін таппай отыр. Сондықтан мұндай тауық етін және ет өнімдерін өңдеу өндірісінде пайдалану ақуызды шикізат көздерінің артуына ықпал етеді.

Жұмыртқа бағытындағы құс фабрикаларында 560-580 күнге жеткен тауықтардың жұмыртқалау өнімділігінің төмендеуіне байланысты өндірістен шектетіледі, мұндай тауықтың ақуыз мөлшері жоғары және күшті дәмі бар, бірақ дәнекер тіндері арасындағы өзара байланыстың арқасында құрылымы қатты [5,6], құрамында ақуыз және омега-3 май қышқылы жоғары, бірақ жеуге жарамды ет шығымы аз және сенсорлық қасиеттері төмен (еттің қаттылығы) болғандықтан, олардың ақуыз көздері ретіндегі потенциалына қарамастан, нарықта мұндай еттер төмен бағамен сатылады. Еттің өте қатты және серпімді болуына байланысты тауық еті көбіне жартылай фабрикат немесе дайын ет өнімдерін өндіруге қолайлы [7,8]. Бұл шикізат ресурсын жоғары сапалы ет өнімдерін өндіру үшін пайдалану ғылыми және өндірістік қызығушылық тудырады.

Тауық етіндегі минералдық құрамды талдау адам ағзасына қажетті микро- және макроэлементтердің жеткілікті мөлшерде түсуін қамтамасыз ету, сондай-ақ ауыр металдардың әсерін болдырмау тұрғысынан маңызды болып табылады.

Соңғы жылдары тауық еті сапасына қатысты зерттеулер негізінен ұша сипаттамаларына, түсіне, pH көрсеткішіне және су ұстау қабілетіне

бағытталған [9,10]. Жұмыртқа өндірісінен шектетілген тауық етінің микробиологиялық, физика-химиялық және тағамдық қасиеттері, минералдық құрамы бойынша зерттеулер саны шектеулі. Сонымен қатар Yulian Chen және басқада авторлар осы бағыттағы тауық етін жақсы текстуралық қасиеттері мен пісіру барысында аз салмақ жоғалту көрсеткіштерімен ерекшеленетінін атап өткен [9].

Nagihan Karaaslan мен Mehmet Yaman еңбегінде Түркияда өндірістен шектетілген тауық еттеріндегі Cd, Cr, Ni және Pb ауыр металдардың шекті рұқсат етілген деңгейі зерттеліп, Pb ауыр металдың концентрациясы МАС шектен жоғары екені анықталған [10].

Макро- және микроэлементтердің, сондай-ақ ауыр металдардың шекті рұқсат етілген деңгейін анықтау үшін әдетте жалындау атомдық сіңіру спектрометриясы (FAAS), электротермиялық атомдық сіңіру спектрометриясы (ETAAS) және индуктивті түрде байланыстырылған плазмалық атомдық эмиссия спектрометриясы (ICP-AES) қолданылады. Дегенмен, макро- микроэлементтер мен ауыр металдардың шекті рұқсат етілген деңгейі анықтау үшін жоғары сезімталдығы, сенімділігі және кең сызықты динамикалық диапазоны арқасында индуктивті түрде байланыстырылған плазмалық масс-спектрометрия (ICP-MS) тиімді әдіс болып табылады [11].

Аталған жайттарды ескере отырып, зерттеудің мақсаты – отандық өндірісте пайдаланудан шығарылған тауықтар мен ет бағытындағы бройлердің сирақ, төс және сан бұлшықеттерінің минералдық құрамын анықтау, сондай-ақ аталған екі топ арасындағы айырмашылықтарды салыстырмалы түрде бағалау болып табылады.

Осы мақсатқа жету үшін ICP-MS әдісімен екі бағыттағы еттердің минералдық құрамын зерттеу міндеті қойылды. Сонымен қатар ауыр металдардың шекті рұқсат етілген деңгейі анықталды.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Зерттеу нысаны ретінде Түркістан облысы, Сарыағаш ауданы, Дарбаза елді мекенінде орналасқан «Сарыағаш құс» ЖШС-нің коммерциялық пайдаланудан шыққан (560 күндік, 10 бас тауық, тірі салмағы 1,3-2,3 кг) тауықтары және бақылау үлгісі ретінде сауда желісінен алынған «Алель-Агро» АҚ-ның +4ºС температурада салқындатылған бройлер тауық ұшасы (42 күндік, 10 бас тауық ұшасы, салмағы 2,2-2,5 кг) алынды. «Сарыағаш құс» ЖШС-нің 10 бас тауық 8 сағат бойы аш ұсталып, кейін дәстүрлі мойын кесу әдісімен сойылды, 2 минут қан ағызылып, қауырсыннан тазартылып, ішкі ағзалары алынды. Ұшалар 4°С температурада 24 сағат салқындатылғаннан кейін олардың сол және оң жағынан төс, сирақ және сан бұлшықеттері бөлініп алынды. Келесі кезеңде көрінетін тері, артық май және дәнекер тіндерден тазартылды [12,13]. Минералдық құрамын зерттеу мақсатында тауық ұшаларының сирақ, төс, сан бұлшықеттерінен үлгілер алынды.

Екі бағыттағы тауықтардың минералдық құрамын зерттеу жұмыстары М. Әуезов атындағы ОҚУ-нің «Тамақ инженериясы» кафедрасы мен «Құрылымдық және Биохимиялық материалдар» инженерлік бейіндегі аймақтық сынақ зертханасында жүргізілді. Стандартты әдістермен шикізаттардың күлділігі МЕМСТ 31727-2012 [14], минералдық құрамы ҚР СТ ИСО 17294-2-2006 Varian-820MS бойынша индуктивті байланысқан плазмасы бар масс-спектрометрде (ICP-MS) зерттелді.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Зерттеу барысында Қазақстанның ет бағытындағы және жұмыртқа өндірісінен шектетілген тауық еттері зерттелді. Мәліметтер 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1

Зерттеу объектілері

Үлгі нөмірі	Тауық ұшасы	Өндірістің атауы	Тұқымы	Жасы
Жұмыртқа өндірісінен шектетілген тауық еті				
№1	Тауықтың сирақ еті	ЖШС «Сарыағаш құс»	Браун ник	80 апта
№2	Тауықтың төс еті			
№3	Тауықтың сан еті			
Ет бағытындағы бройлер тауық еті				
№4	Тауықтың сирақ еті	«Алель-Агро» АҚ	Крос	6 апта
№5	Тауықтың төс еті			
№6	Тауықтың сан еті			

Жұмыртқа өндірісінен шектетілген тауықтар мен бройлер тауықтардың технологиялық параметрлері олардың генетикалық бағыты мен өндірістік мақсатына сәйкес ажыратылады. Бройлер жоғары өсу қарқынымен, ет сапасының нәзіктігімен сипатталса, жұмыртқа өндірісінен шектетілген тауықтар еті құрылымдық қаттылығымен және қайта өңдеу саласына бағытталуымен ерекшеленеді. Сондықтан әр топқа арналған технологиялық тәсілдер дифференциалды түрде ұйымдастырылады. Екі бағыттағы тауықтардың күтімі бойынша айтарлықтай айқын айырмашылық жоқ, ал азықтандыру бойынша мәліметтер 2-кестеде келтірілген.

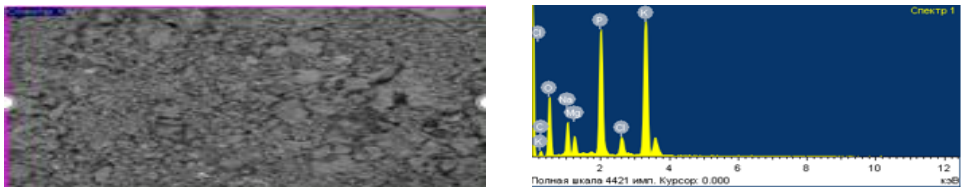
Кесте 2

Тауық азығының негізгі қоректік заттар мөлшері

Көрсеткіш атауы, өлшем бірлігі, %	«Алель-Агро» АҚ ет бағытындағы тауықтарға арналған стандартты азық	ЖШС «Сарыағаш құс» жұмыртқа бағытындағы тауықтарға арналған азық
Шикі ақуыз	20,0	17,87
Шикі талшық	4,0	5,84
Май	5-8	2,98
Лизин	1,0-1,3	0,91
Метионин	0,45-0,55	0,46
Метионин+ цистин	0,8-0,1	0,77
Треонин	0,7-0,9	0,7
Кальций	0,8-0,1	4,04
Фосфор	0,4-0,5	0,97
Сіңімді фосфор	0,35-0,75	0,26
Натрий	0,15-0,25	0,16
Хлор	0,15-0,25	0,18
Алмасу энергиясы, ккал/100г	300-320	282-300

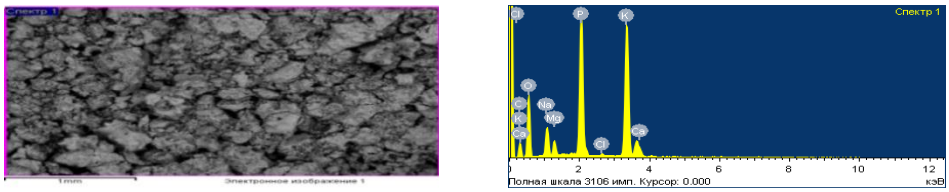
Екі бағыттағы құстардың азықтануы бойынша ерекшелігі жұмыртқа бағытындағы тауықтардың азығында жұмыртқаның қабығының беріктігі үшін кальций мөлшері жоғары, ал бройлер тауықтарының азығында еттің өнімділігін артыратын май мөлшері мен шикі ақуыз мөлшері жоғары.

Зерттелген тауық еті үлгілерінің күл рентгенограммасы мен минералды құрамының спектрограммасының нәтижелері 1-6 суреттерде келтірілген.



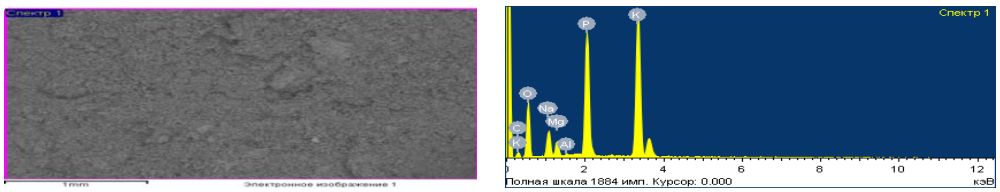
а б

Сурет 1. Үлгі №1; а – күл рентгенограммасы, б - күл спектрограммасы



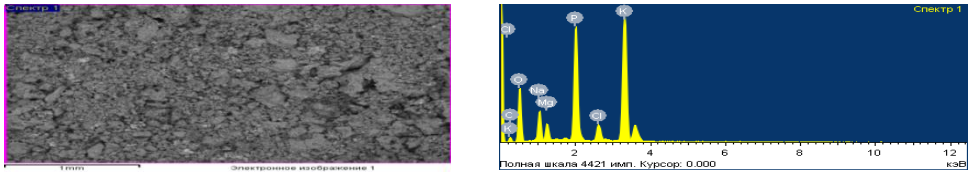
а б

Сурет 2. Үлгі №2; а – күл рентгенограммасы, б – күл спектрограммасы



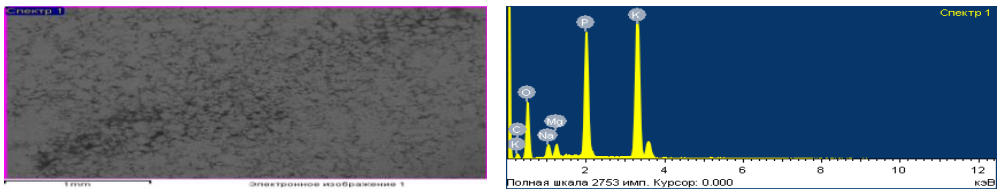
а б

Сурет 3. Үлгі №3; а – күл рентгенограммасы, б – күн спектрограммасы



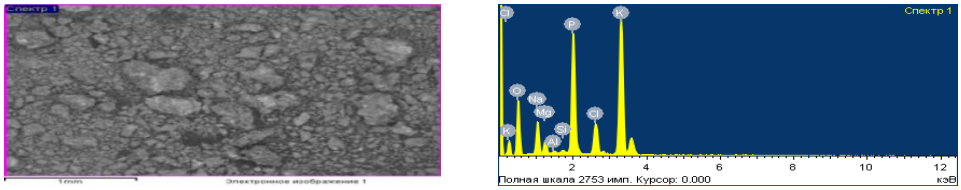
а б

Сурет 4. Үлгі №10; а – күл рентгенограммасы, б – күл спектрограммасы



а б

Сурет 5. Үлгі №11; а – күл рентгенограммасы, б – күл спектрограммасы



а б

Сурет 6. Үлгі №12; а – күл рентгенограммасы, б - күл спектрограммасы

Тауық еттерінің зерттелген нұсқаларының күл рентгенограммасы мен минералды құрамының спектрограммасын талдау күлдің құрамына адам ағзасына қажетті маңызды макроэлементтер кальций, натрий, калий, магний, фосфор, хлор және аз мөлшерде микроэлемент кремний, алюминий, мырыш табылғанын көрсетті.

Тауық еттерінің макро және микроэлементтердің құрамы 1 кестеде көрсетілген.

Кесте 1

Тауық етінің макро және микроэлементтерінің құрамы

Көрсеткіш атауы, өлшем бірлігі, %	Өндірістің атауы					
	ЖШС «Сарыағаш құс» (жұмыртқа өндірісі бағыты)			«Алель-Агро» АҚ (құс етін өндіру бағыты)		
	№1 (сирақ еті)	№2 (төс еті)	№3 (сан еті)	№4 (сирақ еті)	№5 (төс еті)	№6 (сан еті)
Na	7,16	5,35	6,20	6,92	3,35	7,68
Mg	2,85	1,75	2,55	2,78	2,20	2,32
P	15,17	15,38	17,42	16,07	17,18	17,18
Cl	4,68	0,25	-	2,75	-	5,34
Al	-	-	0,26	-	-	-
K	25,96	20,47	28,71	25,94	29,12	28,43
Ca	-	1,24	-	-	-	-
Zn	0,72	-	-	-	-	-
Si	-	-	-	-	-	0,22

Кестеде келтірілген мәліметтерге сәйкес «Сарыағаш құс» ЖШС-нің (2,85%) және «Алель-Агро» АҚ-ның (2,78%) тауық ұшасының сирақ етіндегі магнийдің мөлшерімен шамалас, төс еттері бойынша «Алель-Агро» АҚ-ның тауық ұшасының төс етіндегі мөлшері (2,20%), «Сарыағаш құс» ЖШС-нің (1,75%) тауық ұшасының төс етіндегі (0,45%) мөлшерінен аз, «Сарыағаш құс» ЖШС-ның тауық ұшасының сан етіндегі мөлшері (2,55%) «Алель-Агро» АҚ-ның (2,35%) тауық ұшасының сан етіндегі мөлшерінен (0,23%) төмен.

Натрий мөлшері бойынша «Сарыағаш құс» ЖШС-нің тауық ұшасының сирақ етіндегі мөлшері (7,16%), «Алель-Агро» АҚ-ның (6,92%), тауық ұшасының сирақ етіндегі мөлшерінен (0,23%) төмен, төс еттері бойынша «Алель-Агро» АҚ-ның тауық ұшасының төс етіндегі мөлшері (3,35%), «Сарыағаш құс» ЖШС-нің (5,35%) тауық ұшасының төс етіндегі (2,0%) мөлшерінен төмен, «Сарыағаш құс» ЖШС-ның тауық ұшасының сан етіндегі мөлшерінен (6,20%), «Алель-Агро» АҚ-ның (7,68%) тауық ұшасының сан етіндегі мөлшері (1,48%) жоғары.

Тауық еті фосфордың жақсы көзі болып табылады. «Алель-Агро» АҚ-ның (16,07%) тауық ұшасының сирақ етіндегі фосфор мөлшері «Сарыағаш құс» ЖШС-нің (15,17%) тауық ұшасының сан етіндегі мөлшерінен (0,9%) жоғары, төс еттері бойынша «Алель-Агро» АҚ-ның тауық ұшасының төс етіндегі мөлшері (17,18%), «Сарыағаш құс» ЖШС-нің (15,38%) тауық ұшасының төс етіндегі (1,8%) мөлшерінен жоғары, «Сарыағаш құс» ЖШС-нің тауық ұшасының сан етіндегі мөлшерінен (17,42%), «Алель-Агро» АҚ-ның (17,18%) тауық ұшасының сан етіндегі мөлшері (0,24%) жоғары.

Тауық еттеріндегі адам ағзасының жүрек, бұлшықет және жүйке жүйесінің дұрыс жұмыс істеуі үшін аса маңызды минералдың бірі калий көрсеткіші бойынша «Сарыағаш құс» ЖШС-нің тауық ұшасының сирақ

етіндегі мөлшері (25,96%), «Алель-Агро» АҚ-ның тауық ұшасының сирақ етіндегі мөлшерімен (25,94%) шамалас, төс еттері бойынша «Алель-Агро» АҚ-ның тауық ұшасының төс етіндегі мөлшері (29,12%), «Сарыағаш құс» ЖШС-нің (20,47%) тауық ұшасының төс етіндегі мөлшерінен (8,65%) жоғары, «Сарыағаш құс» ЖШС-ның тауық ұшасының сан етіндегі мөлшері (28,71%), «Алель-Агро» АҚ-ның (28,43%) тауық ұшасының сан етіндегі мөлшерінен (0,24%) жоғары.

Хлор мөлшері бойынша «Сарыағаш құс» ЖШС-нің тауық ұшасының сирақ етіндегі хлор мөлшері (4,68%), «Алель-Агро» АҚ-ның (2,75%) тауық ұшасының сирақ етіндегі мөлшерінен (1,95%) жоғары, төс еттері бойынша «Алель-Агро» АҚ-ның тауық ұшасының төс етінде анықталған жоқ ал «Сарыағаш құс» ЖШС-нің тауық ұшасының төс етінде 0,25% мөлшері анықталды, «Сарыағаш құс» ЖШС-нің тауық ұшасының сан етіндегі анықталған жоқ, ал «Алель-Агро» АҚ-ның (7,68%) тауық ұшасының сан етінде 5,34% мөлшері анықталды. Алюминий мөлшері тек «Сарыағаш құс» ЖШС-нің тауық ұшасының сан етінде ғана анықталды.

Кестеде келтірілген мәліметке сәйкес адамның сүйек саулығы мен бұлшықет-жүрек қызметі үшін негізгі минерал кальций тек жұмыртқа өндірісінен шектетілген тауық етінің төс етінде (1,24%) ғана анықталды. Сонымен қатар иммундық жүйе мен жасушалық жаңаруға аса маңызды микроэлемент мырышта жұмыртқа өндірісінен шектетілген тауық етінің сирақ етінде (0,72%) тіркелді. Дәнекер тіндер мен сүйек құрылымының қалыптасуы үшін маңызды элемент кремний тек ет бағытындағы тауық етінің сан етінде (0,22%) ғана анықталды.

Тауық етінің әртүрлі бөліктеріндегі макро- және микроэлементтер құрамын салыстыру нәтижесінде төмендегідей көрсеткіштер анықталды. Натрий ең көп мөлшерде «Алель-Агро» АҚ-ның сан етінде 7,68% кездеседі, ал ең аз мөлшерде осы өндірістің төс етіне анықталды 3,35%. Сирақ етінде магний мөлшері ең жоғары 2,85%, ал төс етінде – ең төмен 1,75%. Фосфор мөлшері «Сарыағаш құс» ЖШС-нің сан етінде (17,42%) жоғары болса да, басқа ет бөліктерімен салыстырғанда айырмашылық үлкен емес. Хлор кейбір үлгілерде ғана көрсетілген. Ең көп мөлшері «Алель-Агро» АҚ-ның сан етінде 5,34%. Калий мөлшері бойынша ең жоғары пайыздық көрсеткіш «Сарыағаш құс» ЖШС-нің сан етінде (28,71%) анықталды. Кальций тек жұмыртқа бағытындағы тауық етінде анықталды, ет бағытындағы тауық етінде кальций анықталған жоқ.

Жұмыртқа өндірісінен шектетілген тауық етінде фосфор, кальций, магний және калий көбірек кездеседі. Ал ет бағытындағы тауық еттерінде натрий мен хлор мөлшері жоғары екені зерттеу барысында анықталды.

Зерттеуде нәтижелері бойынша макроэлементтердің ішінде калий ең көп мөлшерде, одан кейін фосфор, натрий, магний, және кальций тіркелді. Бұл нәтиже Lorenzo [15] зерттеулерімен сәйкес келеді: онда фосфор мен калий балық, тауық және страус етінде негізгі минералдар деп көрсетілген.

V.F. Dolganyuk, S.Yu. Noskova, мен O.S. Chaplygin зерттеу деректеріне сәйкес жоғары протеинді жем қоспалары мен азықтандырылған тауық еттерінің төс және сан етіндегі макро- және микроэлементтер құрамы: төс еті бойынша кальций 0,29-0,57%, фосфор 3,89-4,23%, темір 6,94-7,54%, марганец 0,13-0,23%, ал сан етінде кальций 0,45-0,66%, фосфор 4,56-5,03%, темір 8,01-8,5%, марганец 0,2-0,22% екені анықталған [16]. Осы деректерді зерттеу нәтижесімен салыстырғанда минералдық құрамы бойынша «Сарыағаш құс» ЖШС-нің тауық ұшасының төс етінде кальций 0,64%, фосфор 11,15%, ал сан

еттері бойынша «Сарыағаш құс» ЖШС-нің сан етінде фосфор 12,39% жоғары жоғары екені анықталды.

Барлық ет үлгілерінде ауыр және улы металдар – қорғасын, сынап, кадмий, қалайы және хром – анықталмады. Тауық еттерінің минералдық құрамы Кеден одағының КО ТР 021/2011 "Тамақ өнімдерінің қауіпсіздігі туралы" техникалық регламенті [17] және МЕМСТ Р 55447-2013 стандарт талаптарына сәйкес келетіні расталды.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеулер негізінде келесі тұжырымдар жасалды. Зерттелетін үлгілердің минералдық құрамын зерттеу барысында алынған мәліметтер негізінде олардың құрамында адам ағзасына қажетті макро- және микроэлементтер: магний, натрий, калий, фосфор, кальций, мырыш, кремний бар екені және ауыр металдардың жоқ екені анықталды. Жұмыртқа өндірісінен шектетілген тауық еті мен ет өндірісі бағытындағы еттің құрамындағы маңызды макро- және микроэлементтердің бір-бірінен айырмашылығы аз.

Зерттеу барысында келтірілген мәліметтерді ескере отырып, жұмыртқа өндірісінен шектетілген тауық етін, ет шикізаты ретінде пайдалануға болады деген қорытынды жасалды. Шабылған жартылай және дайын өнімдерді дайындауда жұмыртқа өндірісінен шектетілген тауық етін ұтымды пайдалану, кәсіпорын өнімдерінің ассортиментін кеңейтуге, шығындарды азайтуға және қосымша пайда табуға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі

1. Птицеводство Казахстана: состояние и проблемы развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://abkaz.kz/pticevodstvo-kazaxstana-sostoyanie-i-problemy-razvitiya.
2. Shahbandeh M. Global Production of Meat 2016–2023, by Type. – 2023. [Electronic resource]. – Access mode: https://www.statista.com/aboutus/our-research-commitment/1239/m-shahbandeh.
3. Рынок мяса птицы и куриного мяса в Казахстане в 2024 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://aitas.kz/novosti/miaso-pticy-vytesniaet-krasnoe-miaso-eksperty-o-pticevodstve-v-kazaxstane.
4. Wegner V., Kokoszynski D., Kotowicz M., Zochowska-Kujawska J., Nedzarek A., Włodarczyk K. Influence of genotype on meat quality in laying hens after the egg production season // Agriculture. – 2024. – Vol. 14, No. 19.
5. Semwogerere F., Neethling J., Muchenje V., Hoffman L. C. Meat quality, fatty acid profile, and sensory attributes of spent laying hens fed expeller press canola meal or a conventional diet // Poultry Science. – 2019. – Vol. 98. – P. 3557-3570.
6. Petek M., Cavusoglu E. Carcass characteristics and physical meat quality properties of spent broiler breeder hens and commercial spent layer hens // Harran University Veterinary Faculty Journal. – 2021. – Vol. 10, No. 2. – P. 172-177.
7. Toma S.A., Belal S.A., Baset M.A., Uddin M.N. Meat quality of commercial spent hens and broilers // Advances in Animal and Veterinary Sciences. – 2024. – Vol. 12, No. 4. – P. 647-656.
8. Choe J., Kim H. Y. Physicochemical characteristics of breast and thigh meats from old broiler breeder hen and old laying hen and their effects on quality properties of pressed ham // Poultry Science. – 2020. – Vol. 99. – P. 2230-2235.
9. Chen Y., Qiao Y., Xiao Y., Chen H., Zhao L., Huang M., Zhou G. Differences in physicochemical and nutritional properties of breast and thigh meat from crossbred chickens, commercial broilers, and spent hens // Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. – 2016. – Vol. 29, No. 6. – P. 855-864.
10. Karaaslan N.M., Yaman M. Assessment and ICP-MS determination of toxic metal content (Cd, Cr, Ni, and Pb) in Turkish chicken meat for use as bioindicator for human health // Atomic Spectroscopy. – 2018. – Vol. 39, No. 1. – P. 16-21.

11. Mazarakioti E.C., Zotos A., Thomatou A.A., Kontogeorgos A., Patakas A., Ladavos A. Inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS), a useful tool in authenticity of agricultural products' and foods' origin // Foods. – 2022. – Vol. 11, No. 22. – Art. 3705.
12. Chen Y., Qiao Y., Xiao Y., Chen H., Zhao L., Huang M., Zhou G. Differences in physicochemical and nutritional properties of breast and thigh meat from crossbred chickens, commercial broilers, and spent hens // Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. – 2016. – Vol. 29, No. 6. – P. 855-864.
13. Kumar A., Mendiratta S.K., Sen A.R., Kandeepan G., Talukder S., Sharma H., Soni A., Irshad A., Kumar S. Preparation and storage stability of meat spread developed from spent hens // Veterinary World. – 2015. – Vol. 8, No. 5. – P. 651-655.
14. МЕМСТ 31727-2012. Ет және ет өнімдері. Жалпы күлдің үлесін анықтау әдісі [Мәтін]. – Еңгізілген. 2013-07-01. – М.: Стандартинформ, 2013. – 12 б.
15. Rocha Y.J.P., Lorenzo J.M., Barros J.C., Baldin J.C., Trindade M.A. Effect of chicken meat replacement by spent laying hen meat on physicochemical properties and sensorial characteristics of fresh sausage // British Poultry Science. – 2019. – Vol. 60, No. 2. – P. 139-145.
16. Dolganyuk V.F., Noskova S.Yu., Chaplygin O.S. Estimation of quality and efficiency of application of a poultry feed supplement in feeding Hubbard broiler chickens // Foods and Raw Materials. – 2017. – Vol. 5, No. 2.
17. ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» [Текст]: принят приказом №880 от 29.12.2011. (ред. 14.07.2021).

Материал редакцияға 06.05.25 түсті, 28.04.26 қабылданды.

Э.Б. Ешаева[1], А.М. Таева[2], Б.Т. Абдижаппарова[1]

[1]Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
[2]Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА МЯСА КУР, ВЫВЕДЕННЫХ ИЗ ЯИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА, И МЯСА БРОЙЛЕРНЫХ КУР МЕТОДОМ ICP-MS

Аннотация. Одной из актуальных проблем мясной отрасли является эффективное использование белкового сырья и поиска рациональных способов применения мяса кур, выведенных из яичного производства, для восполнения дефицита мясного сырья на перерабатывающих предприятиях. Целью исследования являлось определение минерального состава куриного мяса и сравнительная оценка содержания макро- и микроэлементов в мясе бройлерных кур и кур, выведенных из яичного производства. В ходе исследования был изучен минеральный состав мышц голени, грудки и бедра кур, выведенных из производства ТОО «Сарыагаш құс» и контрольных образцов - тушек кур мясного направления АО «Алель-Агро». Анализ проводился методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) на приборе Varian-820MS в соответствии со стандартом СТ РК ИСО 17294-2-2006. Результаты показали, что в составе куриного мяса присутствуют макроэлементы натрий, магний, фосфор, калий и кальций, а также микроэлементы алюминий, цинк и кремний. В мясе голени кур, выведенных из яичного производства, содержание (мас. %) составляло: Na – 7,16; Mg – 2,85; K - 25,96; в грудной мышце – Na – 5,35; Ca – 1,24; в бедренной мышце P – 17,42; K – 28,71; Mg – 2,55. Эти показатели оказались выше по сравнению с аналогичными значениями в мясе кур мясного направления. В целом различия в содержании основных макро- и микроэлементов в мясе кур двух направлений продуктивности оказались незначительными.

Ключевые слова: мясо кур, выведенных из яичного производства, бедро, грудка, голень, макро- и микроэлементы.

E.B. Yeshayeva[1], A.M. Taeva[2], B.T. Abdizhapparova[1]

[1]M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan
[2]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

COMPARATIVE STUDY OF THE MINERAL COMPOSITION OF MEAT FROM SPENT LAYING HENS AND BROILER CHICKENS USING THE ICP-MS METHOD

Abstract. One of the current challenges in the meat industry is the efficient use of protein raw materials and the development of rational ways to utilize meat from spent laying hens in order to compensate for the shortage of raw meat resources in processing industries. The aim of this study was to determine the mineral composition of chicken meat and to comparatively evaluate the levels of macro- and microelements in the meat of broiler chickens and spent laying hens. In this study, the mineral composition of the drumstick, breast, and thigh muscles of chickens withdrawn from egg production at Saryagash Kus LLP was analyzed. Carcasses of broiler chickens from Aleel-Agro JSC were used as control samples. The analysis was performed using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) with a Varian-820MS instrument in accordance with ST RK ISO 17294-2-2006. The results showed that chicken meat contains macroelements such as sodium, magnesium, phosphorus, potassium, and calcium, as well as microelements including aluminum, zinc, and silicon. In the drumstick meat of spent laying hens, the content (wt. %) was: Na – 7.16; Mg – 2.85; K – 25.96; in breast meat – Na – 5.35; Ca – 1.24; and in thigh meat P – 17.42; K – 28.71; Mg – 2.55. These values were higher compared with those found in broiler chicken meat. Overall, the differences in the content of major macro- and microelements between the two types of chicken meat were relatively small.

Keywords: spent laying hen meat, thigh, breast, drumstick, macroelements, microelements.

References

1. Poultry Farming in Kazakhstan: Current State and Development Problems [Electronic resource]. – Access mode: http://abkaz.kz/pticevodstvo-kazaxstana-sostoyanie-i-problemy-razvitiya.
2. Shahbandeh M. Global Production of Meat 2016–2023, by Type. – 2023. [Electronic resource]. – Access mode: https://www.statista.com/aboutus/our-research-commitment/1239/m-shahbandeh.
3. Рынок мяса птицы и куриного мяса в Казахстане в 2024 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://aitas.kz/novosti/miaso-pticy-vytesniaet-krasnoe-miaso-eksperty-o-pticevodstve-v-kazaxstane.
4. Wegner V., Kokoszynski D., Kotowicz M., Zochowska-Kujawska J., Nedzarek A., Włodarczyk K. Influence of genotype on meat quality in laying hens after the egg production season // Agriculture. – 2024. – Vol. 14, No. 19.
5. Semwogerere F., Neethling J., Muchenje V., Hoffman L. C. Meat quality, fatty acid profile, and sensory attributes of spent laying hens fed expeller press canola meal or a conventional diet // Poultry Science. – 2019. – Vol. 98. – P. 3557-3570.
6. Petek M., Cavusoglu E. Carcass characteristics and physical meat quality properties of spent broiler breeder hens and commercial spent layer hens // Harran University Veterinary Faculty Journal. – 2021. – Vol. 10, No. 2. – P. 172-177.

7. Toma S.A., Belal S.A., Baset M.A., Uddin M.N. Meat quality of commercial spent hens and broilers // Advances in Animal and Veterinary Sciences. – 2024. – Vol. 12, No. 4. – P. 647-656.
8. Choe J., Kim H. Y. Physicochemical characteristics of breast and thigh meats from old broiler breeder hen and old laying hen and their effects on quality properties of pressed ham // Poultry Science. – 2020. – Vol. 99. – P. 2230-2235.
9. Chen Y., Qiao Y., Xiao Y., Chen H., Zhao L., Huang M., Zhou G. Differences in physicochemical and nutritional properties of breast and thigh meat from crossbred chickens, commercial broilers, and spent hens // Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. – 2016. – Vol. 29, No. 6. – P. 855-864.
10. Karaaslan N.M., Yaman M. Assessment and ICP-MS determination of toxic metal content (Cd, Cr, Ni, and Pb) in Turkish chicken meat for use as bioindicator for human health // Atomic Spectroscopy. – 2018. – Vol. 39, No. 1. – P. 16-21.
11. Mazarakioti E.C., Zotos A., Thomatou A.A., Kontogeorgos A., Patakas A., Ladavos A. Inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS), a useful tool in authenticity of agricultural products' and foods' origin // Foods. – 2022. – Vol. 11, No. 22. – Art. 3705.
12. Chen Y., Qiao Y., Xiao Y., Chen H., Zhao L., Huang M., Zhou G. Differences in physicochemical and nutritional properties of breast and thigh meat from crossbred chickens, commercial broilers, and spent hens // Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. – 2016. – Vol. 29, No. 6. – P. 855-864.
13. Kumar A., Mendiratta S.K., Sen A.R., Kandeepan G., Talukder S., Sharma H., Soni A., Irshad A., Kumar S. Preparation and storage stability of meat spread developed from spent hens // Veterinary World. – 2015. – Vol. 8, No. 5. – P. 651-655.
14. MEMST 31727-2012. Et zhane et onimderi. Zhalpy kuldin ulesin anyktau adisi [Meat and Meat Products. Method for Determination of Total Ash Content]. – Introduced. 2013-07-01. – Moscow: Standartinform, 2013. – 12 p. [in Kazakh].
15. Rocha Y.J.P., Lorenzo J.M., Barros J.C., Baldin J.C., Trindade M.A. Effect of chicken meat replacement by spent laying hen meat on physicochemical properties and sensorial characteristics of fresh sausage // British Poultry Science. – 2019. – Vol. 60, No. 2. – P. 139-145.
16. Dolganyuk V.F., Noskova S.Yu., Chaplygin O.S. Estimation of quality and efficiency of application of a poultry feed supplement in feeding Hubbard broiler chickens // Foods and Raw Materials. – 2017. – Vol. 5, No. 2.
17. TR TS 021/2011. Tekhnicheskii reglament Tamozhennogo soyuza «O bezopasnosti pishchevoi produktsii» [Technical Regulation of the Customs Union "On Food Safety"]. – Approved by Order No. 880 of December 29, 2011 (as amended on July 14, 2021). [in Russian].

МРНТИ 65.55.39

А.М. Байтуреев[1] – *основной автор*,
Ж.А. Ертаева[2], А.Т. Онлабекова[3], А.Б. Мынбаева[4]

[1]Академик МАНЭБ, канд. техн. наук, профессор,
[2]Магистр физики, Директор ТОО Профессионального гуманитарно-технического колледжа «Білім», [3]PhD, и.о. доцента,
[4]Канд. техн. наук, ассоц. профессор
ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0002-2752-4969 [3]https://orcid.org/0000-0003-4379-0586*
[4]https://orcid.org/0000-0002-3799-2686

[1,3,4]Таразский университет им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан
[2]ТОО Профессиональный гуманитарно-технический колледж «Білім», Тараз, Казахстан

@ *[1]bam150348@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/QQEG6278

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРИГОДНОСТИ ПРИРОДНОЙ СОЛИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ САРЫСУСКОГО РАЙОНА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПИЩЕВОЙ ПОВАРЕННОЙ СОЛИ

Аннотация. В статье представлена технологическая оценка природной соли месторождений Сарысуского района Жамбылской области как потенциального сырья для производства пищевой поваренной соли. Целью исследования являлось определение соответствия химического состава солевых отложений требованиям ГОСТ 13830-91 и обоснование возможности их промышленного использования в пищевой отрасли. Проведён комплекс лабораторных исследований с последующим сопоставлением полученных данных с нормативными показателями сортности пищевой соли. Установлено, что большинство исследованных месторождений требуют технологической доработки вследствие наличия примесей, ограничивающих их непосредственное использование. Наиболее перспективным объектом является месторождение «Майдагенкөл», характеризующееся высоким содержанием хлорида натрия и показателями, близкими к нормативам высших категорий. Обоснована технологическая целесообразность применения процессов очистки и перекристаллизации для повышения сортности продукта. Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологических регламентов переработки природной соли и формировании региональной сырьевой базы пищевой промышленности.

Ключевые слова: пищевая поваренная соль, солевые месторождения, технологическая пригодность, химический состав, компоненты, сортность соли, оценка.

Байтуреев, А.М. Оценка технологической пригодности природной соли месторождений Сарысуского района для производства пищевой поваренной соли [Текст] / А.М. Байтуреев, Ж.А. Ертаева, А.Т. Онлабекова, А.Б. Мынбаева //Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №2(92). – С.19-29. https://doi.org/10.55956/QQEG6278

Введение. Поваренная соль является одним из базовых продуктов пищевой промышленности и стратегически значимым элементом продовольственной безопасности государства. Качество соли, предназначенной для пищевого использования, напрямую влияет на органолептические характеристики продукции, стабильность технологических процессов и состояние здоровья населения [1]. В соответствии с требованиями ГОСТ 13830-91 «Соль поваренная пищевая. Общие технические условия» массовая доля хлорида натрия и содержание примесей (кальция, магния, сульфатов, нерастворимого остатка и оксида железа) строго нормируются в зависимости от сортности продукта [2].

Влияние минерального состава соли на её технологические и органолептические свойства подробно рассмотрено в исследованиях [3,4].

В международной практике требования к пищевой соли регламентируются стандартом Codex Alimentarius CXS 150-1985, устанавливающим показатели чистоты и безопасности пищевой соли [5]. Всемирная организация здравоохранения подчёркивает необходимость обязательного йодирования соли как эффективной меры профилактики йододефицитных заболеваний [6]. Таким образом, использование природных солевых ресурсов в пищевой промышленности возможно исключительно при условии их соответствия национальным и международным нормативным требованиям.

Сарысуский район Жамбылской области характеризуется значительными запасами природной соли, что подтверждается результатами геологоразведочных и технологических исследований [7,8]. На территории района выявлен ряд соляных месторождений, отличающихся по минеральному составу и условиям формирования. Однако природный состав солевых залежей включает примеси сульфатных соединений, кальция и магния, а также нерастворимые включения, которые могут ограничивать возможность их непосредственного использования в производстве пищевой соли [9].

Особый интерес представляет месторождение «Майдагенкөл», характеризующееся сравнительно высоким содержанием NaCl и более благоприятным соотношением примесей по сравнению с другими объектами региона [7]. Оценка химического состава солевых отложений данного месторождения с позиции требований ГОСТ 13830-91 позволяет определить его потенциальную пригодность для формирования региональной сырьевой базы пищевой промышленности.

Несмотря на наличие публикаций, посвящённых геологической характеристике соляных месторождений региона, их комплексная оценка с позиции нормативных требований к пищевой поваренной соли в научной литературе представлена недостаточно полно. В этой связи актуальным является сопоставление фактического химического состава природных солей Сарысуского района с установленными показателями сортности и определение технологической реализуемости доведения сырья до требований более высоких категорий.

Проведение сравнительной оценки природных солевых месторождений региона с позиции нормативных требований к пищевой поваренной соли позволяет перейти от описательной геологической характеристики к прикладной технологической интерпретации их промышленного потенциала. Такой подход обеспечивает научное обоснование целесообразности

вовлечения конкретных объектов в переработку и формирование региональной сырьевой базы.

Целью настоящего исследования является оценка химического состава природной соли месторождений Сарысуского района Жамбылской области и определение их технологической пригодности для производства пищевой поваренной соли в соответствии с требованиями ГОСТ 13830-91.

Условия и методы исследования. Объектами исследования являлись природные солевые отложения месторождений Сарысуского района Жамбылской области: «Юнкикөл», «Айдын», «Майдагенкөл», а также озеро «Тұзкөл». Основной акцент при оценке качества был сделан на месторождении «Майдагенкөл» как наиболее перспективном источнике сырья для производства пищевой поваренной соли [7,8]. Отбор проб осуществлялся методом выборочного послойного отбора с различных участков соленосной толщи с учетом неоднородности минерального состава. Для обеспечения репрезентативности на каждом объекте формировались параллельные образцы.

Определение массовой доли хлорида натрия проводилось титриметрическим методом с использованием раствора нитрата серебра (аргентометрия по методу Мора) в соответствии с требованиями нормативной документации [2]. Расчёт содержания NaCl выполнялся по объему израсходованного титранта с учетом влажности образца. Данный метод широко применяется при анализе пищевой соли и обеспечивает необходимую точность определения основного компонента [9].

Содержание ионов кальция и магния определялось комплексонометрическим методом с применением раствора трилона Б (ЭДТА). Концентрации рассчитывались по результатам титрования и пересчитывались на сухое вещество. Методика позволяет достоверно оценить влияние данных примесей на сортность продукта и его соответствие требованиям ГОСТ 13830-91 [2].

Методика определения кальция и магния соответствует общепринятым подходам аналитической химии [10].

Массовая доля сульфат-ионов определялась гравиметрическим методом осаждения в виде сульфата бария ($BaSO_4$) с последующим высушиванием и взвешиванием осадка. Применение данного метода обусловлено необходимостью точного определения содержания SO_4^{2-}, поскольку повышенная концентрация сульфатов является одним из ограничивающих факторов при переводе соли в более высокую сортность [9].

Нерастворимый остаток определялся путем растворения навески соли в дистиллированной воде с последующей фильтрацией, высушиванием фильтра и взвешиванием остатка до постоянной массы. Влажность образцов устанавливалась методом высушивания при температуре 105 ± 2°C до постоянной массы в соответствии с общепринятыми методиками анализа минерального сырья [9].

Полученные результаты сопоставлялись с требованиями ГОСТ 13830-91 к пищевой поваренной соли [2], а также с нормативами ГОСТ 6318-77 при оценке сульфатных отложений [11]. Анализ проводился с целью определения соответствия исследуемых образцов установленным показателям сортности, выявления критических примесей и оценки необходимости технологической доработки сырья. Статистическая обработка результатов включала вычисление средних значений и анализ вариабельности показателей качества.

Результаты исследований. Комплексный анализ химического состава солевых отложений Сарысуского района был направлен на установление их соответствия требованиям, предъявляемым к пищевой поваренной соли. В качестве первоочередного объекта оценки рассматривался верхний галитовый слой соленосной толщи, поскольку именно он потенциально может использоваться как сырьё для производства пищевой соли без глубокой химической переработки.

Результаты химического анализа верхнего слоя солевых отложений месторождений «Юнкикөл», «Қойбағар» и «Тұзкөл» приведены в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав верхнего (галитового) слоя солевых отложений месторождений «Юнкикөл», озёр «Қойбағар» и «Тұзкөл», в %

№	Объект исследования	*NaCl, %*	Mg^{2+}, %	Ca^{2+}, %	SO_4^{2-}, %	Нерастворимый остаток, %
1	Участок Юнкикөл:					
	озеро №1	90,56	0,18	1,08	2,50	3,60
	озеро №2	94,39	0,10	0,67	1,44	2,31
	озеро №3	90,74	0,17	0,68	2,01	1,82
2	Озеро Қойбағар	86,74	0,17	0,29	4,22	6,26
3	Озеро Тұзкөл	90,38	0,72	0,56	4,73	1,12

Анализ данных таблицы 1 показывает, что массовая доля хлорида натрия варьируется от 86,74% до 94,39%. Наиболее высокое содержание NaCl установлено в образце озера №2 участка «Юнкикөл» (94,39%). Однако даже данный показатель не достигает минимального нормативного значения 97,0%, установленного для соли второго сорта по ГОСТ 13830-91 [2].

Снижение массовой доли NaCl в исследуемых образцах сопровождается повышенным содержанием примесей. Так, концентрация нерастворимого остатка в образце озера «Қойбағар» достигает 6,26%, что более чем в шесть раз превышает допустимое значение для соли второго сорта (0,95%) и многократно превышает норматив для высших категорий [2]. Повышенные показатели нерастворимого остатка свидетельствуют о наличии минеральных включений, способных ухудшать прозрачность растворов, органолептические свойства и товарный вид продукта.

Содержание кальция и магния также варьируется в зависимости от месторождения. В образцах озера №1 участка «Юнкикөл» содержание Ca^{2+} достигает 1,08%, что существенно превышает норматив для всех сортов пищевой соли (не более 0,65% для второго сорта). Аналогично, концентрации Mg^{2+} в отдельных образцах приближаются к предельно допустимым значениям. Указанные показатели ограничивают возможность прямого использования данных солей в пищевых целях.

Особого внимания заслуживает содержание сульфат-ионов. В образцах озёр «Тұзкөл» и «Қойбағар» их концентрация достигает 4,73% и 4,22% соответственно, что существенно превышает допустимые значения (не более 1,5% для соли второго сорта) [2]. Повышенное содержание SO_4^{2-} отрицательно влияет на вкусовые свойства соли и требует обязательной технологической коррекции.

Сопоставление фактических данных таблицы 1 с требованиями ГОСТ 13830-91 позволяет сделать вывод о том, что ни один из рассмотренных образцов верхнего галитового слоя не соответствует требованиям даже

второго сорта без дополнительной очистки. Основными лимитирующими параметрами являются недостаточная массовая доля NaCl и повышенное содержание сульфатов.

Нормативные требования к массовой доле NaCl и содержанию примесей (Ca^{2+}, Mg^{2+}, SO_4^{2-}, нерастворимого остатка) установлены ГОСТ 13830–91 [2] и учитывались при сопоставлении фактических показателей исследуемых образцов.

Анализ минерального состава сульфатных отложений нижних горизонтов представлен в таблице 2.

Таблица 2

Массовая доля химических компонентов в солевых отложениях озёр «Көкалегел», «Естекен», а также нижнего (сульфатного) пласта озёр «Қойбағар» и «Тұзкөл», %.

№	Месторождение	Na_2SO_4, %	$CaSO_4$, %	$MgSO_4$, %	NaCl, %
1	Озеро «Естекен»	5,25-90,5	-	0,84-69,56	0,34-26,34
2	Озеро «Көкалегел»	4,11-89,03	-	0,54-24,06	0,75-30,98
3	Озеро «Қойбағар»	11,85-90,7	-	-	-
4	Озеро «Тұзкөл»	5,35-81,35	-	3,76-37,68	-

Установлено, что минеральный состав озёр «Естекен» и «Көкалегел» характеризуется преобладанием Na_2SO_4, массовая доля которого в отдельных случаях достигает 80-90%. Подобные показатели свидетельствуют о преимущественно технической направленности данных месторождений.

Сульфатные отложения отдельных месторождений по своему минеральному составу могут представлять интерес преимущественно для химической промышленности и производства технического сульфата натрия [11].

Сопоставление с требованиями ГОСТ 6318-77 показывает, что по содержанию основного вещества часть образцов соответствует I или II сорту технического сульфата натрия, однако по содержанию примесей и влажности не всегда достигаются показатели высшего сорта [11].

Технологическое значение для оценки пригодности сырья имеют данные по растворимости солей, представленные в таблице 3.

Таблица 3

Растворимость основных солевых компонентов при различных температурах (г на 100 г воды)

№	Соли	Растворимость в зависимости от температуры, ºС								
		0	10	20	25	30	35	40	60	80
1	NaCl	35,7	-	35,9	-	-	-	36,4	37,2	38,1
2	$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	-	-	19,2	27,9	40,8	49,8	48,4	45,8	43,3
3	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	25,5	30,4	35,1	37,4	39,7	-	44,7	54,8	59,2
4	$MgCl_2 \cdot 2H_2O$	56,9	53,8	54,8	55,5	56,0	-	58,0	61,3	65,8
5	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	0,176	0,193	0,209	0,212	-	-	-	-	-

Анализ данных таблицы 3 показывает, что растворимость NaCl изменяется незначительно в диапазоне температур от 0 до 80°С, что свидетельствует о стабильности поведения галита в водных растворах. В то же время растворимость сульфатов натрия и магния демонстрирует более выраженную температурную зависимость. Растворимость $CaSO_4$ остаётся

крайне низкой во всём исследованном диапазоне температур, что обуславливает его частичное выпадение в осадок при растворении солевой смеси.

Выявленные различия в растворимости компонентов создают предпосылки для их селективного разделения при разработке технологических схем переработки природной соли.

Наиболее перспективным объектом для пищевого применения является месторождение «Майдагенкөл», результаты анализа которого приведены в таблице 4.

Таблица 4

Показатели качества соли месторождения «Майдагенкөл» и их соответствия требованиям ГОСТ 13830-91

Показатель	Фактическое значение	Норма (высший сорт)	Норма (1 сорт)	Норма (2 сорт)
NaCl, %	98,6	≥ 98,4	≥ 97,7	≥ 97
Ca^{2+}, %	0,15	≤ 0,35	≤ 0,5	≤ 0,65
Mg^{2+}, %	0,05	≤ 0,05	≤ 0,1	≤ 0,25
SO_4^{2-}, %	0,376	≤ 0,8	≤ 1,2	≤ 1,5
Нерастворимый остаток, %	0,04	≤ 0,16	≤ 0,45	≤ 0,95

Массовая доля NaCl в исследуемом образце месторождения «Майдагенкөл» составляет 98,6%, что соответствует требованиям первого сорта и приближается к нормативам высшего сорта по ГОСТ 13830-91 [2]. Содержание кальция (0,15%), магния (0,05%), сульфат-ионов (0,376%) и нерастворимого остатка (0,04%) находится в пределах допустимых значений для пищевой соли.

Сравнительная оценка показывает, что отклонение фактической массовой доли NaCl в соли месторождения «Майдагенкөл» от установленного норматива для категории «экстра» не превышает 1,1 процентного пункта, что свидетельствует о высокой степени природной чистоты сырья.

Это свидетельствует о высокой степени природной чистоты сырья и технологической реализуемости доведения его качества до более высокой сортности. По совокупности показателей месторождение «Майдагенкөл» существенно превосходит остальные исследованные объекты района и может рассматриваться как наиболее перспективная сырьевая база для производства пищевой поваренной соли.

Данные таблицы 4 свидетельствуют о том, что исследуемая соль полностью соответствует требованиям первого сорта и по большинству показателей приближается к нормативам высшего сорта. Это подтверждает высокую степень природной чистоты сырья и технологическую реализуемость повышения его сортности.

Таким образом, результаты исследования подтверждают, что природные солевые месторождения Сарысуского района характеризуются различной степенью пригодности для пищевого применения. Большинство объектов требуют существенной технологической переработки, тогда как месторождение «Майдагенкөл» обладает показателями, близкими к нормативам высших сортов, что определяет его приоритетное значение для дальнейшего промышленного освоения.

Выявленные закономерности химического состава и растворимости компонентов требуют технологической интерпретации с позиции возможности доведения качества природной соли до требований более высоких сортов.

Обсуждение результатов исследований. Проведённые исследования показали, что солевые месторождения Сарысуского района характеризуются значительной неоднородностью химического состава, что обусловливает различную степень их пригодности для использования в пищевой промышленности. Основным критерием сортности поваренной соли является массовая доля NaCl, поскольку именно этот показатель определяет соответствие нормативам ГОСТ 13830-91 [2].

Сопоставление полученных результатов с нормативными требованиями позволяет констатировать, что большинство исследованных образцов верхнего галитового слоя не достигают минимального значения массовой доли NaCl, установленного даже для второго сорта. Это свидетельствует о том, что природные соли рассматриваемых месторождений требуют обязательной технологической доработки перед возможным использованием в пищевых целях.

Ключевыми ограничивающими факторами являются повышенное содержание сульфат-ионов и присутствие соединений кальция и магния. Известно, что ионы Mg^{2+} и Ca^{2+} негативно влияют на органолептические свойства соли, способствуют её повышенной гигроскопичности и ухудшают сыпучесть продукта при хранении [9]. Кроме того, присутствие сульфатов может придавать соли горьковатый привкус и снижать её товарные характеристики. Следовательно, даже при достаточной массовой доле NaCl превышение концентрации указанных примесей может ограничивать перевод продукта в более высокую сортность.

Анализ температурных зависимостей растворимости подтверждает возможность использования процессов растворения и перекристаллизации для повышения качества природного солевого сырья. Относительная стабильность растворимости NaCl при одновременном изменении растворимости сульфатных соединений создаёт условия для частичного удаления примесей в процессе растворения и последующей кристаллизации. Низкая растворимость сульфата кальция способствует его осаждению на стадии фильтрации, что повышает степень очистки конечного продукта [8,9].

Таким образом, различия в физико-химических свойствах компонентов солевой системы могут быть использованы для повышения сортности соли без применения сложных химических реагентов, что имеет практическое значение для пищевой промышленности.

Эффективность процессов очистки и перекристаллизации галита подтверждена рядом исследований [12-15].

Особого внимания заслуживает месторождение «Майдагенкөл». По совокупности показателей качества данное сырьё демонстрирует наиболее благоприятное соотношение основного компонента и примесей. Массовая доля NaCl приближается к нормативам высших сортов, а содержание кальция, магния и сульфатов находится в пределах допустимых значений для пищевой соли. В отличие от других объектов района, где превышение примесей носит системный характер, «Майдагенкөл» характеризуется высокой степенью природной чистоты, что существенно снижает объём необходимой технологической переработки.

Полученные значения массовой доли NaCl практически достигают норматива категории «экстра», что дополнительно подтверждает высокую степень природной чистоты сырья. С технологической точки зрения данный показатель может быть компенсирован за счёт применения процессов растворения, фильтрации и перекристаллизации, что позволяет повысить концентрацию основного компонента и снизить содержание примесей. Таким образом, результаты исследования подтверждают промышленную целесообразность формирования региональной сырьевой базы пищевой соли на основе данного месторождения.

В отличие от работ, посвящённых преимущественно геологической характеристике соляных месторождений региона [7], настоящее исследование рассматривает их с позиции нормативных требований к пищевой поваренной соли и технологической реализуемости доведения сырья до более высокой сортности. Это позволяет расширить представление о практическом потенциале природных солевых ресурсов Жамбылской области и обосновать направления их рационального использования.

Следует отметить, что выявленная дифференциация месторождений по качественным показателям свидетельствует о необходимости их целевого промышленного использования. В то время как сульфатные отложения целесообразно ориентировать на химическую переработку, галитовые пласты с повышенной массовой долей NaCl могут рассматриваться как стратегический резерв пищевой промышленности региона. Такой дифференцированный подход позволяет повысить эффективность использования минерально-сырьевой базы.

Заключение. Проведённое исследование позволило выполнить комплексную оценку химического состава природных солевых отложений Сарысуского района Жамбылской области с позиции их соответствия нормативным требованиям к пищевой поваренной соли. Установлено, что большинство исследованных месторождений характеризуются недостаточной массовой долей хлорида натрия и повышенным содержанием примесей, что ограничивает возможность их непосредственного использования в пищевой промышленности без предварительной технологической доработки.

Анализ растворимости компонентов солевой системы подтвердил наличие предпосылок для повышения качества сырья методом перекристаллизации и селективного удаления примесей кальция и сульфатов. Полученные закономерности имеют важное значение при разработке технологических схем переработки природной соли.

Среди исследованных объектов наибольшую перспективность продемонстрировало месторождение «Майдагенкөл», химический состав которого соответствует требованиям первого сорта и приближается к нормативам высших категорий. Это свидетельствует о высокой степени природной чистоты сырья и возможности его доведения до более высокой сортности при применении рациональных методов очистки.

Таким образом, результаты работы обосновывают целесообразность формирования региональной сырьевой базы для производства пищевой поваренной соли на территории Сарысуского района. Полученные результаты формируют научную основу для разработки технологических регламентов переработки природной соли и позволяют обосновать промышленное освоение наиболее перспективных месторождений с позиции обеспечения продовольственной безопасности региона.

Список литературы

1. Desmond E. Reducing salt: A challenge for the meat industry // Meat Science. – 2006. – Vol. 74. – P. 188–196.
2. ГОСТ 13830–91. Соль поваренная пищевая. Общие технические условия [Текст]. – Введ. 01-01-1993. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 15 с.
3. Taormina P.J. Implications of salt composition on food safety and quality // Food Microbiology. – 2010. – Vol. 27. – P. 155–165.
4. Albarracín W., Sánchez I., Grau R., Barat J.M. Salt in food processing; usage and reduction: a review // International Journal of Food Engineering. – 2011. – Vol. 7.
5. Codex Alimentarius Commission. CXS 150-1985. Standard for Food Grade Salt. – FAO/WHO, 1985.
6. World Health Organization. Guideline: Fortification of food-grade salt with iodine for the prevention and control of iodine deficiency disorders. – Geneva: WHO, 2014.
7. Байтуреев, А.М. Инновационный способ процесса сушки поваренной соли в сушильном барабане со смешанным режимом термообработки [Текст] / А.М. Байтуреев, А.Т. Онлабекова, Ж.А. Ертаева. – Тараз: университет Тараз, 2023. – 213 с.
8. Байтуреев, А.М. Переработка и сушка в производстве поваренной соли [Текст] / А.М. Байтуреев. – Тараз: ТарГУ им. М.Х. Дулати, 2005. – 195 с.
9. Петров В.П. Технология производства поваренной соли [Текст]. – М.: Химия, 2008. – 256 с.
10. Vogel A.I. Textbook of Quantitative Chemical Analysis. – 6th ed. – London: Prentice Hall, 2000.
11. ГОСТ 6318–77. Сульфат натрия технический. Технические условия [Текст]. – Введ. 01-01-1979. – М.: Издательство стандартов, 1977. – 21 с.
12. Sedivy V.M. Environmental balance of salt production speaks in favour of solar saltworks // Global Nest Journal. – 2009. – Vol. 11. – P. 41–48.
13. Crittenden B., Paterson W. Chemical Engineering Design of Crystallization Processes. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2012.
14. Rahman M.S. Handbook of Food Preservation. – 2nd ed. – CRC Press, 2015.
15. Sun X., Jiang X. Purification of industrial sodium chloride by recrystallization // Journal of Chemical Technology and Biotechnology. – 2013. – Vol. 88. – P. 1930–1936.

Материал поступил в редакцию 17.06.25, принят 12.05.26.

А.М. Байтуреев[1], Ж.А. Ертаева[2], А.Т. Оңлабекова[1], А.Б. Мынбаева[1]

[1]М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан
[2]«Білім», кәсіби гуманитарлық-техникалық колледжі ЖШС, Тараз, Қазақстан

САРЫСУ АУДАНЫ КЕН ОРЫНДАРЫНЫҢ ТАБИҒИ ТҰЗЫН АСХАНАЛЫҚ ТАҒАМДЫҚ ТҰЗ ӨНДІРУ ҮШІН ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ЖАРАМДЫЛЫҒЫН БАҒАЛАУ

Аңдатпа. Мақалада Жамбыл облысы Сарысу ауданы кен орындарының табиғи тұзы асханалық тағамдық тұз өндіруге арналған әлеуетті шикізат ретінде технологиялық тұрғыдан бағаланды. Зерттеудің мақсаты – тұз шөгінділерінің химиялық құрамының ГОСТ 13830–91 талаптарына сәйкестігін анықтау және оларды тағам өнеркәсібінде өнеркәсіптік пайдаланудың мүмкіндігін негіздеу. Зерттеу барысында зертханалық талдаулар кешені жүргізіліп, алынған нәтижелер тағамдық тұздың сорттылығына қойылатын нормативтік көрсеткіштермен салыстырылды. Зерттелген кен орындарының көпшілігі құрамындағы қоспалардың болуына байланысты тікелей пайдалануға жарамсыз екендігі және қосымша технологиялық

өңдеуді қажет ететіні анықталды. Ең перспективалы нысан ретінде натрий хлоридінің жоғары мөлшерімен және жоғары сорт талаптарына жақын көрсеткіштерімен сипатталатын «Майдегенкөл» кен орны белгіленді. Өнімнің сорттылығын арттыру мақсатында тазалау және қайта кристалдандыру үдерістерін қолданудың технологиялық тұрғыдан тиімділігі негізделді. Алынған нәтижелер табиғи тұзды қайта өңдеудің технологиялық регламенттерін әзірлеуде және тағам өнеркәсібі үшін өңірлік шикізат базасын қалыптастыруда пайдаланылуы мүмкін.

Тірек сөздер: асханалық тағамдық тұз, тұз кен орындары, технологиялық жарамдылық, химиялық құрам, қоспалар, тұз сорттылығы, бағалау.

A.M. Baitureev[1], Zh.A. Yertaeva[2], A.T. Onlabekova[1], A.B. Mynbayeva[1]

[1]M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan
[2]Professional Humanitarian and Technical College "Bilim",Taraz, Kazakhstan

ASSESSMENT OF THE TECHNOLOGICAL SUITABILITY OF NATURAL SALT DEPOSITS OF THE SARYSU DISTRICT FOR THE PRODUCTION OF EDIBLE TABLE SALT

Abstract. The article presents a technological assessment of natural salt deposits of the Sarysu district in the Zhambyl region as a potential raw material for the production of edible table salt. The aim of the study was to determine the compliance of the chemical composition of salt deposits with the requirements of GOST 13830–91 and to substantiate the possibility of their industrial application in the food industry. A comprehensive set of laboratory analyses was conducted, followed by a comparison of the obtained results with the regulatory quality standards for edible salt. It was established that most of the studied deposits require technological processing due to the presence of impurities that limit their direct use. The most promising deposit is "Maidengenkol," characterized by a high sodium chloride content and indicators close to the standards of higher quality grades. The technological feasibility of applying purification and recrystallization processes to improve the product grade has been substantiated. The obtained results may be used in the development of technological regulations for natural salt processing and in the formation of a regional raw material base for the food industry.

Keywords: edible table salt, salt deposits, technological suitability, chemical composition, impurities, salt grade, assessment.

References

1. Desmond E. Reducing salt: A challenge for the meat industry // Meat Science. – 2006. – Vol. 74. – P. 188–196.
2. GOST 13830–91. Sol' povarennaya pishchevaya. Obshchie tekhnicheskie usloviya [Table Salt for Food Purposes. General Specifications]. – Introduced. 01-01-1993. – Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1991. – 15 p. [in Russian].
3. Taormina P.J. Implications of salt composition on food safety and quality // Food Microbiology. – 2010. – Vol. 27. – P. 155–165.
4. Albarracín W., Sánchez I., Grau R., Barat J.M. Salt in food processing; usage and reduction: a review // International Journal of Food Engineering. – 2011. – Vol. 7.
5. Codex Alimentarius Commission. CXS 150-1985. Standard for Food Grade Salt. – FAO/WHO, 1985.
6. World Health Organization. Guideline: Fortification of food-grade salt with iodine for the prevention and control of iodine deficiency disorders. – Geneva: WHO, 2014.
7. Baitureev A.M., Onlabekova A.T., Ertaeva Zh.A. Innovatsionnyi sposob protsessa sushki povarennoi soli v sushil'nom barabane so smeshannym rezhimom termoobrabotki [Innovative Method for Drying Table Salt in a Drying Drum with a

Combined Heat-Treatment Mode]. – Taraz: Taraz University, 2023. – 213 p. [in Russian].
8. Baitureev A.M. Pererabotka i sushka v proizvodstve povarennoi soli [Processing and Drying in Table Salt Production]. – Taraz: M.Kh. Dulaty TarSU, 2005. – 195 p. [in Russian].
9. Petrov V.P. Tekhnologiya proizvodstva povarennoi soli [Technology of Table Salt Production]. – Moscow: Khimiya, 2008. – 256 p. [in Russian].
10. Vogel A.I. Textbook of Quantitative Chemical Analysis. – 6th ed. – London: Prentice Hall, 2000.
11. GOST 6318–77. Sul'fat natriya tekhnicheskii. Tekhnicheskie usloviya [Technical Sodium Sulfate. Specifications]. – Introduced. 01-01-1979. – Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1977. – 21 p. [in Russian].
12. Sedivy V.M. Environmental balance of salt production speaks in favour of solar saltworks // Global Nest Journal. – 2009. – Vol. 11. – P. 41–48.
13. Crittenden B., Paterson W. Chemical Engineering Design of Crystallization Processes. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2012.
14. Rahman M.S. Handbook of Food Preservation. – 2nd ed. – CRC Press, 2015.
15. Sun X., Jiang X. Purification of industrial sodium chloride by recrystallization // Journal of Chemical Technology and Biotechnology. – 2013. – Vol. 88. – P. 1930–1936.

ҒТАМР 65.33.35

Б.Ж. Мулдабекова[1] – *негізгі автор*,
М.А. Якияева[2], Ф.Т. Ерметаева[3], М.Б. Султанкул[4]

[1]Техн. ғылым. канд., профессор, [2]PhD, қауымдас. профессор, [3]Магистрант, [4]Докторант

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0003-1848-4288 [2]https://orcid.org/0000-0002-8564-2912 [3]https://orcid.org/0009-0002-2889-6980 [4]https://orcid.org/0009-0005-6489-7309*

[1,2,3,4]Алматы Технологиялық университеті,

Алматы, Қазақстан

@ *[3]taspolatovna.08@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/YJZR8529

КОМПОЗИТТІ ҚОСПАЛАРДЫҢ СОЗЫЛМАЛЫ ПЕЧЕНЬЕНІҢ ФИЗИКО-ХИМИЯЛЫҚ САПАСЫНА ӘСЕРІН КЕШЕНДІ БАҒАЛАУ

Аңдатпа. Бұл зерттеу композитті қоспаларды ұнға қосу арқылы кондитер өнімдерінің, атап айтқанда созылмалы печеньенің тағамдық құндылығы мен функционалдық сипаттамаларын арттыруға бағытталған. Қант қызылшасы ұнтағы құрамында табиғи қанттармен қатар витаминдер (әсіресе В тобы және С), минералдар (темір, кальций, калий, магний) және антиоксиданттық заттар бар. Бұл печеньенің тағамдық құндылығын айтарлықтай арттырады. Жасымық ұнын печенье құрамына енгізу өнімнің тағамдық және функционалдық қасиеттерін айтарлықтай жақсартады. Ол өсімдік текті жоғары сапалы ақуыздың, тағамдық талшықтардың, В тобы витаминдерінің және минералдық заттардың (темір, магний, фосфор) көзі болып табылады. Жасымық ұнының қосылуы печеньедегі ақуыз мөлшерін арттырып, көмірсулардың сіңу жылдамдығын баяулатады. Сонымен қатар, тағамдық талшықтар ас қорыту үдерісін жақсартып, функционалдық әсер көрсетеді. Зерттеу нәтижелері бойынша қант қызылшасы ұнтағы мен жасымық ұны созылмалы печеньенің тағамдық құндылығын жоғарылап, өнімнің функциональдық қасиеті артқанына көз жеткізуге болады. Композитті қоспаларды қолднау ұнды кондитер өнімдеріне тән дәстүрлі тағамдық қасиеттерді сақтай отырып, жүргізілген зерттеу аясында созылмалы печеньенің минералдық заттар мен дәрумендер құрамын байытуға, оның тағамдық құндылығын арттыруға және функционалдық қасиеттерін жетілдіруге мүмкіндік берді.

Тірек сөздер: созылмалы печенье, қант қызылшасы ұнтағы, жасымық ұны, тағамдық талшықтар, минералды заттар, дәрумендер, тағамдық құндылық, антиоксиданттық қасиет, функционалдық қасиеттер.

Мулдабекова, Б.Ж. Композитті қоспалардың созылмалы печеньенің физико-химиялық сапасына әсерін кешенді бағалау [Мәтін] / Б.Ж. Мулдабекова, М.А. Якияева, Ф.Т. Ерметаева, М.Б. Султанкул // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №2(92). – Б.30-39. https://doi.org/10.55956/YJZR8529

Кіріспе. Соңғы жылдары ұннан жасалатын кондитерлік өнімдер технологиясында функционалды бағыт басымдыққа ие болып отыр. Әсіресе, созылмалы печенье сияқты кең таралған өнімдердің тағамдық құндылығын

арттыру, гликемиялық индексін төмендету және биологиялық белсенді қосылыстармен байыту өзекті ғылыми мәселе болып табылады [1]. Дәстүрлі печенье рецептурасы жоғары мөлшердегі тазартылған бидай ұны, қант және майдан тұрады, бұл өнімнің энергия құндылығын арттырғанымен, ақуыз, тағамдық талшық және микроэлементтер бойынша шектеулі болуына әкеледі [2]. Осыған байланысты бидай ұнының бір бөлігін өсімдік текті функционалды ингредиенттермен алмастыру кеңінен зерттелуде.

Қант қызылшасынан алынған ұнтақ пен жасымық ұны - тағамдық талшыққа, ақуызға, минералды заттар мен антиоксиданттарға бай перспективалы шикізат көздері болып табылады. Оларды бірге қолдану композитті қоспалардың синергиялық әсерін қалыптастырып, печеньенің физико-химиялық және функционалдық сапасын кешенді жақсартуға мүмкіндік береді [2,3].

Қант қызылшасы ұнтағы өсімдік текті функционалды ингредиент ретінде тағамдық талшықтың, минералдардың және биологиялық белсенді қосылыстардың көзі болып табылады. Оның құрамында еритін және ерімейтін талшықтар, бетаин, калий, магний, сондай-ақ беталаин пигменттері кездеседі [4]. Зерттеулерге сәйкес, қант қызылша ұнтағын ұн өнімдеріне енгізу өнімнің күлділігін арттырып, минералды құрамын жақсартады [2]. Сонымен қатар, тағамдық талшықтың жоғары мөлшері қамырдың су сіңіру қабілетін арттырып, дайын печеньенің ылғалдылығына және су белсенділігіне әсер етеді [1].

Физика-химиялық тұрғыдан алғанда, қант қызылша ұнтағы крахмал-глютен матрицасын өзгертіп, қамырдың реологиялық қасиеттеріне ықпал етеді. Бұл жағдай созылмалы печеньеде жайылу коэффициентінің төмендеуіне және құрылымның тығыздануына әкелуі мүмкін [5].

Маңызды аспектілердің бірі – беталаиндердің термиялық тұрақтылығы. Пісіру процесінде жоғары температура әсерінен беталаиндердің бір бөлігі деградацияға ұшырап, өнім түсінің күңгірттенуіне себеп болады [5,6]. Дегенмен, қызылша ұнтағымен байытылған печеньелердің антиоксиданттық белсенділігі бақылау үлгілермен салыстырғанда айтарлықтай жоғары екендігі көрсетілген [2]. Сондай-ақ, қызылша ұнтағы крахмалдың ферментативті қорытуын баяулатып, болжамды гликемиялық индексін төмендетуге мүмкіндік береді. Бұл қасиет созылмалы печеньені диабетке бейім немесе дұрыс тамақтануды ұстанатын тұтынушылар үшін функционалды өнімге айналдырады [2,4].

Жасымық ұны – жоғары ақуызды және биологиялық құндылығы жоғары бұршақ дақылды өнімдерінің бірі. Оның құрамында 22–28 % ақуыз, тағамдық талшықтар, фенолды қосылыстар және минералды элементтер бар [7]. Жасымық ұнын кондитерлік өнімдерде қолдану печеньенің ақуыз мөлшерін едәуір арттырып, аминқышқылдық құрамын жақсартады [7,8]. Ақуыздың жоғары мөлшері Майяр реакциясының қарқындылығын күшейтіп, пісіру барысында өнімнің түсінің қоңырлануына әсер етеді [9]. Физико-химиялық көрсеткіштер тұрғысынан жасымық ұны енгізілген печеньелерде ылғал ұстау қабілеті жоғарылап, өнімнің қаттылығы артады. Бұл құбылыс ақуыз бен талшықтың гидратациялық қасиеттерімен байланысты [10].

Сонымен қатар, жасымық ұны қамырдың құрылым түзілу механизмін өзгертіп, глютен торының әлсіреуіне әкеледі. Бұл жағдай созылмалы печеньеде сынғыштық пен қаттылықтың өзгеруіне себеп болады [11]. Алайда оңтайлы мөлшерде қолданылған жағдайда, өнімнің құрылымдық сапасы сақталып, тағамдық құндылығы едәуір артады [9]. Жасымық ұнының тағы бір

артықшылығы - оның фенолды қосылыстарға бай болуы. Бұл қосылыстар антиоксиданттық белсенділікті арттырып, өнімнің функционалды қасиеттерін күшейтеді [7].

Қант қызылшасы ұнтағы мен жасымық ұнын бірге қолдану созылмалы печеньенің сапалық көрсеткіштерін кешенді жақсартуға мүмкіндік береді. Мұндай композитті қоспаларда жасымық ақуызы мен қызылша талшығының үйлесуі нәтижесінде өнімнің тағамдық және биологиялық құндылығы артады [12]. Композитті жүйелерде тағамдық талшық мөлшерінің өсуі су сіңіру қабілетін арттырып, крахмалдың қолжетімділігін төмендетеді. Бұл құбылыс болжамды гликемиялық индекстің төмендеуіне әкеліп, функционалды бағыттағы печенье өндірісіне қолайлы жағдай жасайды [13].

Антиоксиданттық тұрғыдан алғанда, беталаиндер мен фенолды қосылыстардың бірлескен әсері жалпы антиоксиданттық белсенділікті жоғарылатады. Дегенмен, пісіру режимдерін дұрыс таңдамау пигменттердің ыдырауына және өнім түсінің шамадан тыс күңгірттенуіне әкелуі мүмкін [14]. Құрылымдық-механикалық қасиеттерге қатысты негізгі тәуекел – қаттылықтың шамадан тыс артуы. Сондықтан композитті қоспалардың мөлшерін оңтайландыру, май мен қант мөлшерін технологиялық тұрғыдан теңгеру маңызды болып табылады [15].

Қызылша ұнтағы мен жасымық ұны қосылған созылмалы печеньенің сапасын кешенді бағалау келесі көрсеткіштерді қамтуы тиіс: ылғалдылық, су сіңірімділігі, ақуыз, май, күл, тағамдық талшық мөлшері, сондай-ақ өнімнің тағамдық құндылығы [15].

Әдеби деректерді талдау қант қызылшасы ұнтағы мен жасымық ұнынан тұратын композитті қоспалардың созылмалы печеньенің физика-химиялық және функционалдық сапасын арттыруда жоғары әлеуетке ие екенін көрсетті. Бұл ингредиенттер өнімнің ақуыз, тағамдық талшық және антиоксиданттық деңгейін жоғарылатып, гликемиялық индексін төмендетуге мүмкіндік береді.

Сонымен бірге, құрылымдық-механикалық және түстік өзгерістерді болдырмау үшін рецептура мен технологиялық параметрлерді оңтайландыру қажеттілігі анықталды. Композитті қоспаларды қолдану функционалды бағыттағы жаңа буын созылмалы печенье өнімдерін әзірлеуге ғылыми негіз қалыптастырады.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Зерттеу жұмысы барысында созылмалы печеньенің құрамын табиғи тағамдық талшықтармен, дәрумендермен және микроэлементтермен байыту мақсатында рецептураға қант қызылшасы ұнтағы мен жасымық ұны енгізілді. Аталған компоненттерді қолдану өнімнің тағамдық және энергетикалық құндылығын арттыруға бағытталған. Зерттеу төменде көрсетілген әдістемелік талаптар мен тәжірибелік тәсілдерге сүйене отырып орындалды.

1. Зерттеу материалы: Зерттеу нысаны ретінде қант қызылшасы ұнтағы мен жасымық ұны және дайын өнім созылмалы печенье пайдаланылды.

2. Қант қызылшасы ұнтағы мен жасымық ұнын қолдану: Қант қызылшасы ұнтағы мен жасымық ұны созылмалы печеньенің құрамын табиғи тағамдық талшықтармен, дәрумендермен және минералды элементтермен байыту мақсатында рецептураға белгілі бір мөлшерде енгізілді. Аталған компоненттердің оңтайлы үлесі өнімнің тағамдық және функционалдық қасиеттерін арттыруға бағытталды.

3. Өнімнің дайындалу технологиясы: Созылмалы печенье рецептурасына қант қызылшасы ұнтағы мен жасымық ұны енгізу арқылы

дайындалды. Өңдеу кезеңінде өнімнің технологиялық параметрлері белгіленген талаптарға сәйкес қатаң бақыланып орындалды.

4. Зерттеу әдістері:

1) Май мөлшерін анықтау. Созылмалы печенье өніміндегі май мөлшері МЕМСТ 5668-68 стандартымен, органикалық еріткіштерді қолдану арқылы майды экстракциялау анықталды.

2) Ақуыз мөлшерін анықтау. Созылмалы печенье өніміндегі ақуыз мөлшері МЕМСТ 108446-91 стандарты арқылы анықталды. Бұл стандарт өнімдердің тағамдық көрсеткіштерін объективті бағалауға мүмкіндік берді.

3) Көмірсу мөлшерін анықтау. Печенье құрамындағы көмірсу мөлшері перманганометриялық әдіс арқылы анықталды. Перманганометриялық әдіс редукцияланатын қанттарды тотығуға қабілеті бойынша анықтайды. Өнімдердің құрамындағы редукцияланатын заттардың саны титр мөлшерімен бағаланады.

4) Минералды заттардың мөлшерін анықтау. Печенье құрамындағы минералды заттар мөлшері ААС әдісімен анықталды. Өнімнің тағамдық құндылығы бағаланып, стандартқа сәйкестігін тексерілді.

5) Дәрумендер құрамын анықтау. Созылмалы печенье өніміндегі дәрумендер құрамы: А дәрумені МЕМСТ Р 54635-2011, Е дәрумені МЕМСТ Р 54949-2012, В1, В2, РР дәрумендері М-04-41-2005 «Капель-105» капиллярлы электрофорез жүйесін қолдану арқылы анықталынды.

6) Аминқышқылдар құрамының массалық үлесін анықтау. М-04-41-2005 «Капель-105» капиллярлы электрофорез жүйесі пайдаланылды. Ол компоненттерді электрофорез арқылы бөлу және анықтау принципіне негізделініп анықталды.

7) Күлділігін анықтау. Созылмалы печенье күлділігі МЕМСТ 5901-2014 стандарты арқылы анықталынды.

Өнімнің энергетикалық құндылығын есептеу төмендегі формула бойынша анықталады:

$$\text{Энергетикалық құндылық (ккал)} = (\text{Ақуыз} \times 4) + (\text{Май} \times 9) + (\text{Көмірсу} \times 3{,}75) \quad (1)$$

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Зерттеу нәтижелері бойынша созылмалы печенье құрамына қант қызылшасы ұнтағы мен жасымық ұнын қосу арқылы өнімнің тағамдық құндылығын арттыруға болатыны анықталды.

Физика-химилық көрсеткіштері. Берілген кесте бақылау үлгісі мен түрлі қоспа мөлшерінің (5%, 10%, 15%, 20%) әсерін сипатталған.

Кесте 1

Бидай ұны, қант қызылшасы ұнтағы мен жасымық ұнынан жасалған созылмалы печеньенің физика-химиялық көрсеткіштері

Көрсеткіштердің аталуы	Бақылау	5%	10%	15%	20%
Физика-химиялық көрсеткіштері:					
Ылғалдылығы, %	6,31±0,02	7,25±0,02	7,82±0,02	8,21±0,03	8,65±0,03
Сілтілігі, град	1,2±0,03	1,2±0,05	1,2±0,1	1,2±0,2	1,2±0,3
Су сіңімділігі, % аз емес	140	152	159	162	171
Күлділігі	0,70±0,002	0,75±0,002	0,79±0,002	0,82±0,002	0,85±0,002
Тағамдық талшық	2,02±0,02	3,05±0,02	4,05±0,02	4,10±0,02	4,15±0,02

1-кестеде бидай ұнына қант қызылшасы ұнтағы мен жасымық ұнын 5-20% аралығында қосу арқылы алынған созылмалы печеньенің негізгі физика-химиялық көрсеткіштерінің өзгеруі көрсетілген. Алынған нәтижелер композитті қоспалардың мөлшерінің артуы өнімнің сапалық сипаттамаларына айқын әсер ететінін дәлелдейді.

Печеньенің ылғалдылығы бақылау үлгісінде 6,31% болса, композитті қоспа мөлшері артқан сайын 8,65 %-ға дейін біртіндеп өскені байқалады. Бұл құбылыс қант қызылшасы ұнтағы мен жасымық ұнының құрамындағы тағамдық талшықтардың және ақуыздардың жоғары су байланыстыру қабілетімен түсіндіріледі. Талшықтың гидрофильді қасиеті ылғалды адсорбциялап, дайын өнімде оның сақталуына ықпал етеді. Ылғалдылықтың қалыпты артуы созылмалы печеньенің құрылымдық тұтастығын сақтауға оң әсер етуі мүмкін. Су сіңімділігі көрсеткіші композитті қоспа мөлшеріне байланысты айқын өсу үрдісін көрсетті: бақылау үлгісінде 140% болса, 20% қоспада 171%-ға дейін артқан. Бұл көрсеткіштің өсуі жасымық ұны мен қант қызылшасы ұнтағының талшықты құрылымына және олардың кеуектілік қасиеттеріне байланысты. Су сіңімділігінің артуы печеньенің ауызда шайналу қасиетін жақсартып, құрылымының тығыздануына ықпал етеді.

Күлділік мөлшері бақылау үлгісінде 0,70% болса, композитті қоспа үлесінің артуымен 0,85%-ға дейін өскен. Бұл қант қызылшасы мен жасымықтың минералды заттарға бай екендігін көрсетеді. Күлділіктің артуы өнімнің биологиялық құндылығының жоғарылағанын дәлелдейді және функционалды бағыттағы өнімдер үшін оң көрсеткіш болып табылады.

Тағамдық талшық мөлшері ең айқын өзгеріске ұшыраған көрсеткіштердің бірі болды. Бақылау үлгісінде ол 2,02% болса, 20% композитті қоспада 4,15%-ға дейін екі еседен астам артқан. Бұл нәтижелер қант қызылшасы ұнтағы мен жасымық ұнының тағамдық талшықтың негізгі көзі екендігін растайды. Талшық мөлшерінің артуы өнімнің физиологиялық құндылығын жоғарылатып, ас қорыту жүйесіне оң әсер ететін функционалды қасиеттерін күшейтеді.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер қант қызылшасы ұнтағы мен жасымық ұнынан тұратын композитті қоспалардың созылмалы печеньенің физика-химиялық сапасын жақсартуға мүмкіндік беретінін көрсетті. Алайда 15-20% деңгейінде ылғалдылық пен су сіңімділігінің айтарлықтай артуы өнімнің құрылымдық-механикалық қасиеттеріне әсер етуі мүмкін. Сондықтан композитті қоспаның оңтайлы мөлшері 10% деп бағаланады, бұл жағдайда тағамдық құндылық артып, технологиялық көрсеткіштер қанағаттанарлық деңгейде сақталады.

Кесте 2

Композитті қоспа қосылған созылмалы печеньенің химиялық құрамының көрсеткіштері

Көрсеткіштердің аталуы	Бақылау	5%	10%	15%	20%
Майдың массалық үлесі, %	8,16±0,04	8,22±0,05	8,36±0,02	8,42±0,02	8,46±0,05
Ақуыздың массалық үлесі, %	9,02±0,04	10,52±0,04	10,64±0,05	10,73±0,06	10,73±0,08
Көмірсулардың массалық үлесі, %	59,09±0,07	59,10±0,09	59,37±0,04	59,42±0,07	59,55±0,09

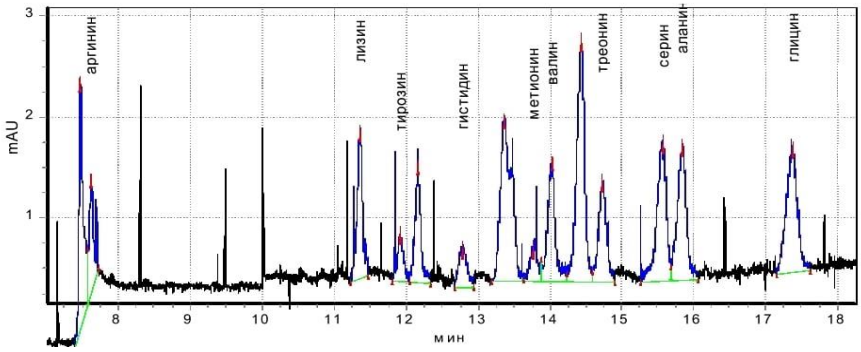
2-кестеде композитті қоспа қосылған созылмалы печеньенің химиялық құрамының негізгі көрсеткіштері – май, ақуыз және көмірсулардың массалық үлестері көрсетілген. Алынған нәтижелер қант қызылшасы ұнтағы мен жасымық ұнын қосу печеньенің қоректік және энергетикалық құндылығына айтарлықтай әсер ететінін көрсетеді.

Майдың массалық үлесі бақылау үлгісінде 8,16 % болса, композитті қоспа мөлшері артқан сайын 8,46 %-ға дейін біртіндеп өскені байқалады. Бұл өсім салыстырмалы түрде мардымсыз және негізінен жасымық ұнының табиғи липидтерінің болуымен, сондай-ақ қамыр құрылымының өзгеруі нәтижесінде майдың ұсталып қалуымен түсіндіріледі. Май мөлшерінің шамалы артуы өнімнің дәмдік қасиеттері мен құрылымдық жұмсақтығына оң әсер етеді. Ақуыз мөлшері композитті қоспа енгізілгенде айқын өсім көрсетті. Бақылау үлгісінде ақуыз мөлшері 9,02% болса, 5% қоспада 10,52%-ға дейін, ал 15-20% деңгейінде 10,73%-ға жеткен. Бұл өзгеріс жасымық ұнының жоғары ақуызды шикізат екендігімен тікелей байланысты. Ақуыз мөлшерінің артуы созылмалы печеньенің биологиялық құндылығын арттырып, функционалды тағам өнімдері қатарына жатқызуға мүмкіндік береді. Көмірсулардың массалық үлесі барлық үлгілерде салыстырмалы түрде тұрақты сақталған. Бақылау үлгісінде 59,09% болса, 20% композитті қоспада 59,55%-ға дейін ғана өскен. Бұл көмірсулардың негізгі көзі бидай ұны болғанымен, қант қызылшасы ұнтағы мен жасымық ұнының қосылуы көмірсулар құрылымының сапалық құрамын (крахмал/талшық қатынасы) өзгертетінін көрсетеді.

Энергетикалық құндылықтың өзгеруін талдау нәтижесінде композитті қоспа мөлшерінің артуымен созылмалы печеньенің калориялығының біртіндеп өскені анықталды: бақылау үлгісінде энергетикалық құндылық 331,11 ккал, 5% композитті қоспа қосылған үлгіде 337,69 ккал, 10% деңгейінде 340,44 ккал**,** 15% деңгейінде 341,53 ккал**,** ал 20% композитті қоспада 342,37 ккал құрады. Осылайша, композитті қоспа мөлшері 0 %-дан 20%-ға дейін артқанда энергетикалық құндылықтың жалпы өсімі 11,26 ккал болды. Бұл өзгеріс негізінен жасымық ұнының енгізілуі нәтижесінде ақуыз мөлшерінің 9,02%-дан 10,73%-ға дейін**,** май үлесінің 8,16%-дан 8,46%-ға дейін артуымен және көмірсулар мөлшерінің 59,09-59,55% аралығында салыстырмалы тұрақты сақталуымен түсіндіріледі. Энергетикалық құндылықтың өсуі айтарлықтай жоғары емес, бұл композитті қоспалар қолданылған созылмалы печеньенің қоректік құндылығы артқанымен, энергия жағынан теңгерімді өнім болып қалатынын көрсетеді.

2-кестеде келтірілген деректерге сәйкес, композитті қоспа ретінде қанты қызылшасы ұнтағы 10%, жасымық ұны 10% мөлшері тиімді нұсқа болды.

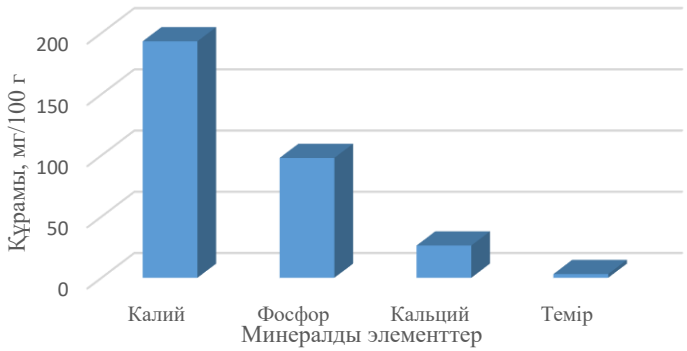
1-суретте көрсетілген деректер бойынша қант қызылшасы ұнтағы 10% және жасымық ұны 10% қосылған созылмалы печеьенің аминқышқылдық құрамы әртүрлі маңызды алмастырылмайтын және алмастырылатын аминқышқылдарының болуымен сипатталды. Аминқышқылдар ішінде ең жоғары массалық үлес пролинге (1,83 ± 0,48%), серинге (1,15 ± 0,30%) және лейцин, изолейцинге (1,10 ± 0,29%) тиесілі, бұл өнімнің ақуыздық құрылымының тұрақтылығын және биологиялық құндылығын көрсетеді.



Сурет 1. Коспозитті қоспа қосылған созылмалы печенье құрамындағы амин қышқылдардың массалық үлесі

Алмастырылмайтын аминқышқылдарының қатарынан фенилаланин, валин, треонин және аргинин едәуір мөлшерде анықталды. Глицин, аланин және сериннің болуы өнімнің дәмдік және құрылымдық қасиеттеріне оң әсер етуі мүмкін. Жалпы алғанда, аминқышқылдық құрамы зерттелген өнімнің тағамдық құндылығы жоғары екенін және функционалдық тағам өнімдерін әзірлеуге перспективалы екенін дәлелдейді.

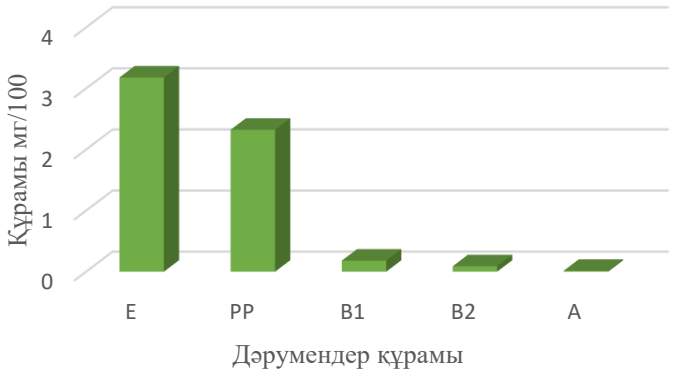
2-суретте қант қызылшасы ұнтағы 10% және жасымық ұны 10% қосылған созылмалы печеьенің тағамдық үлгідегі 100 г өнімге сәйкес негізгі минералдық элементтердің мөлшері көрсетілген. Құрамында калийдің концентрациясы ең жоғары болып, 238,43 мг /100 г-ды құрайды. Фосфор мөлшері орташа деңгейде, 131,46 мг/100 г-ға тең. Кальцийдің концентрациясы төмендеу, шамамен 32,39 мг/100 г деңгейінде байқалады. Ең төменгі көрсеткіш темірге тән, оның мөлшері 3,05 мг/100 г-ға тең болды.



Сурет 2. Созылмалы печеньенің құрамындағы минералды элементтер мөлшері

Қант қызылшасы ұнтағы 10% және жасымық ұны 10% қосылған созылмалы печеьенің құрамындағы дәрумендер 3-суретте көрсетілгендей Е дәрумені ең көп мөлшерде екенін байқауға болады, бұл өнімнің антиоксиданттық қасиетін арттырады. Созылмалы печенье құрамындағы РР дәрумені энергия алмасуына және жүйке жүйесінің қызметіне үлес қосады. В1 және В2 дәрумендері көмірсулар алмасуы мен тері мен көз саулығына оң

әсер етеді. А дәрумені мөлшері аз болса да, көру қабілеті мен эпителий жасушаларының қызметіне маңызды әсер етеді.



Сурет 3. Созылмалы печеньенің құрамындағы дәрумендер құрамы

Жалпы, композитті қоспа қосу печеньенің тағамдық құндылығын дәрумендік құрам тұрғысынан арттырғанын көрсетеді.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу нәтижелері бидай ұнына жасымық ұны және қант қызылшасы ұнтағын әр түрлі мөлшерде енгізу созылмалы печеньенің тағамдық, физикалық-химиялық және органолептикалық қасиеттеріне оң әсер ететінін көрсетті. Эксперимент барысында алынған деректер аталған қосымша ингредиенттердің өнім құрамын құнды нутриенттермен байытатынын және печеньенің биологиялық құндылығын арттыратынын дәлелдеді.

Жасымық ұны мен қант қызылшасы ұнтағын 5-10% мөлшерде қосу өнімнің дәмдік және хош иістік көрсеткіштерін бұзбай, оның құрылымдық қасиеттерін жақсартатыны анықталды. Бұл концентрацияда дайын өнімнің сыртқы түрі, түсі және консистенциясы стандарт талаптарына толық сәйкес келеді. Ал 15-20% деңгейіндегі қосылым печеньенің түсін қызғылт-қызыл реңкке өзгертеді және бұршақ дақылы ұнына тән дәм мен иістің айқын сезілуіне әкеледі, бұл органолептикалық тұрғыдан қолайлы емес деп бағаланды.

Химиялық құрамды талдау нәтижесінде жасымық ұны енгізілген үлгілерде ақуыздың, минералды заттардың (кальций, калий, темір, фосфор) және дәрумендер тобының (А, Е, В1, В2, РР) мөлшері бақылау үлгісімен салыстырғанда айтарлықтай артқаны дәлелденді. Мұндай өзгерістер өнімнің тағамдық және энергетикалық құндылығының жоғарылағанын көрсетеді.

Физика-химиялық көрсеткіштер бойынша да оң өзгерістер байқалды: ылғалдылық пен су сіңімділік қабілеті артты, бұл печеньенің құрылымдық қасиеттерінің жақсаруына ықпал етті. Өнім шығымы тұрақты деңгейде сақталды.

Жалпы алғанда, бидай ұнына жасымық ұны мен қант қызылшасы ұнтағын 5-10% мөлшерде қосу технологиялық тұрғыдан да, тағамдық құндылығы бойынша да тиімді болып табылады. Мұндай композициялық қоспалар функционалдық қасиеттері жоғары, құрамы байытылған, тұтынушылық тартымдылығы сақталған созылмалы печенье өндіруге мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі

1. Mitrevski J., et al. Biscuits made from spelt wholegrain flour with the addition of beetroot powder: properties, structure and storage // Foods. – 2023. – Vol. 12. – No. 2. – P. 322. DOI: 10.3390/foods12020322.
2. Mitrevski J., et al. Low glycemic index biscuits enriched with beetroot powder as a source of betaine and mineral nutrients // Foods. – 2025. – Vol. 14. – No. 5. – P. 814. DOI: 10.3390/foods14050814.
3. Agyei-Poku B., et al. Comparative assessment of matrix integration dynamics between beetroot powder and paste in wheat-based cupcake formulations // Food Science & Nutrition. – 2025. – Vol. 13. – No. 9. – P. e70863. DOI: 10.1002/fsn3.70863.
4. Cui R., Fei Y., Zhu F. Physicochemical, structural and nutritional properties of steamed bread fortified with red beetroot powder and their changes during breadmaking process // Food Chemistry. – 2022. – Vol. 383. – P. 132547. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.132547.
5. Calva-Estrada S.J., et al. Betalains and their applications in food: the current state of processing, stability and future opportunities in the industry // Food Chemistry: Molecular Sciences. – 2022. – Vol. 4 – P. 100089. DOI: 10.1016/j.fochms.2022.100089.
6. Miyagawa Y., et al. Kinetic analysis of thermal degradation of betanin at various pH values using deconvolution method // Food Chemistry. – 2021. – Vol. 361. – P. 130165. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130165.
7. Hajas L., et al. Lentil (Lens culinaris Medik.) flour varieties as promising new ingredients for gluten-free cookies // Foods. – 2022. – Vol. 11. – No. 14. – P. 2028. DOI: 10.3390/foods11142028.
8. Suo X., et al. Development of sugar- and fat-reduced pulse cookies with improved predicted glycemic behavior // Applied Food Research. – 2025. – Vol. 5. – No. 1. – P. 100761. DOI: 10.1016/j.afres.2025.100761.
9. Lazou A.E. Properties, structure, and acceptability of innovative legume-based biscuits with alternative sweeteners // International Journal of Food Science. – 2024. – Vol. 2024. – No. 1. – P. 8216796. DOI: 10.1155/2024/8216796.
10. Türker D.A. Determination of the physical quality, structural characteristics, and sensory acceptability of biscuits prepared from einkorn based lentil composite flours // Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi. – 2024. – Vol. 28. – No. 3. – P. 430-443. DOI: 10.29050/harranziraat.1477200.
11. Imran A., et al. Unleashed protein power: redefining baked goods with legume flour mixtures // Cogent Food & Agriculture. – 2024. – Vol. 10. – No. 1. – P. 2407652. DOI: 10.1080/23311932.2024.2407652.
12. Aljobair M.O. Physicochemical properties and sensory attributes of cookies prepared from sorghum and millet composite flour // Food Science & Nutrition. – 2022. – Vol. 10. – No. 10. – P. 3415-3423. DOI: 10.1002/fsn3.2942.
13. Asrat U., et al. Quality evaluation of biscuit from sorghum and wheat composite flour // Cogent Food & Agriculture. – 2025. – Vol. 11. – No. 1. – P. 2581360. DOI: 10.1080/23311932.2025.2581360.
14. Badia-Olmos C., et al. Techno-functional and rheological properties of alternative plant-based flours // Foods. – 2023. – Vol. 12. – No. 7. – P. 1411. DOI: 10.3390/foods12071411.
15. Shevkani K., et al. Structural, techno-functional and nutraceutical properties of lentil proteins – a concise review // International Journal of Food Science and Technology. – 2024. – Vol. 59. – No. 10. – P. 6875-6884. DOI: 10.1111/ijfs.17491.

Материал редакцияға 13.01.26 түсті, 19.05.26 қабылданды.

Б.Ж. Мулдабекова[1], М.А. Якияева[1], Ф.Т. Ерметаева[1], М.Б. Султанкул[1]

[1]Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ДОБАВОК НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ КАЧЕСТВО ЗАТЯЖНОГО ПЕЧЕНЬЯ

Аннотация. Данное исследование направлено на повышение пищевой ценности и функциональных характеристик кондитерских изделий, в частности затяжного печенья, путем введения композитных добавок в муку. Порошок сахарной свеклы содержит, помимо природных сахаров, витамины (особенно группы В и витамин С), минеральные вещества (железо, кальций, калий, магний) и антиоксидантные соединения, что значительно повышает пищевую ценность печенья. Введение чечевичной муки в состав печенья существенно улучшает его пищевые и функциональные свойства. Она является источником высококачественного растительного белка, пищевых волокон, витаминов группы В и минеральных веществ (железа, магния, фосфора). Добавление чечевичной муки увеличивает содержание белка в печенье и замедляет скорость усвоения углеводов. Кроме того, пищевые волокна способствуют улучшению процессов пищеварения и оказывают функциональный эффект. Результаты исследования показывают, что использование порошка сахарной свеклы и чечевичной муки повышает пищевую ценность затяжного печенья и улучшает его функциональные свойства. Применение композитных добавок позволяет сохранить традиционные пищевые характеристики мучных кондитерских изделий, одновременно обогащая затяжное печенье минеральными веществами и витаминами, повышая его пищевую ценность и совершенствуя функциональные свойства.

Ключевые слова: затяжное печенье, порошок сахарной свеклы, чечевичная мука, пищевые волокна, минеральные вещества, витамины, пищевая ценность, антиоксидантные свойства, функциональные свойства.

B.Zh. Muldabekova[1], M.A. Yakiyayeva[1], F.T. Ermetayeva[1], M.B. Sultankul[1]

[1]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE EFFECT OF COMPOSITE ADDITIVES ON THE PHYSICOCHEMICAL QUALITY OF SEMI-SWEET BISCUITS

Abstract. This study is aimed at improving the nutritional value and functional characteristics of confectionery products, particularly semi-sweet biscuits, by incorporating composite additives into flour. Sugar beet powder contains natural sugars as well as vitamins (especially B-group vitamins and vitamin C), minerals (iron, calcium, potassium, magnesium), and antioxidant compounds, which significantly enhance the nutritional value of biscuits. The incorporation of lentil flour into biscuit formulations substantially improves their nutritional and functional properties. Lentil flour is a source of high-quality plant protein, dietary fiber, B-group vitamins, and minerals (iron, magnesium, phosphorus). The addition of lentil flour increases the protein content of biscuits and slows the absorption rate of carbohydrates. In addition, dietary fiber improves digestive processes and provides functional benefits. The results of the study demonstrate that the use of sugar beet powder and lentil flour increases the nutritional value of semi-sweet biscuits and enhances their functional properties. The application of composite additives makes it possible to preserve the traditional nutritional characteristics of flour-based confectionery products while enriching semi-sweet biscuits with minerals and vitamins, increasing their nutritional value, and improving their functional properties.

Keywords: semi-sweet biscuits, sugar beet powder, lentil flour, dietary fiber, minerals, vitamins, nutritional value, antioxidant properties, functional properties.

ҒТАМР 65.09.03

Т.Ч. Тултабаева[1] – *негізгі автор*, ©
Г.Н. Жакупова[2], К.К. Макангали[3], А.Т. Сағандық[4], А.Х. Мулдашева[5], А.Т. Ахметжанова[6], Қ.Ш. Даирова[7]

[1]Техн. ғылым. д-ры., профессор, [2]Техн. ғылым. канд., профессор, [3]PhD, қауымдас. профессор, [4,5]PhD, ғылыми қызметкер, [6]Докторант, ғылыми қызметкер, [7]Магистр, ғылыми қызметкер

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0003-2483-7406 [2]https://orcid.org/0000-0001-7714-4836 [3]https://orcid.org/0000-0003-4128-6482 [4]https://orcid.org/0000-0001-5480-933X [5]https://orcid.org/0000-0003-0116-0260 [6]https://orcid.org/0009-0002-2584-654X [7]https://orcid.org/0009-0006-4487-4625*

[1,2,3,4,5,6,7]С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,

Астана, Қазақстан

@ *[6]aygerim_talgatqyzy@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/CMHY8367

ПАСТЕРЛЕУ РЕЖИМДЕРІНІҢ АРАЛАС СҮТ ҚОСПАЛАРЫНА ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Мақалада сиыр, ешкі және бие сүтінен әртүрлі арақатынаста дайындалған сүт қоспаларына пастерлеудің әртүрлі температура-уақыттық режимдерінің әсері кешенді түрде зерттелген. Зерттеу барысында органолептикалық бағалау нәтижелері физика-химиялық көрсеткіштермен өзара байланыста қарастырылып, май мен ақуыздың массалық үлесі, құрғақ заттар мөлшері, тығыздық, титрленетін және активті қышқылдық көрсеткіштерінің өзгеру заңдылықтары анықталды. Пастерлеу режимінің ақуыз-фосфолипидті кешендердің күйіне ықпал етіп, қоспалардың құрылымдық тұрақтылығы мен сенсорлық қабылдануына әсер ететіні көрсетілді. Қоспада ешкі және бие сүтінің үлесі артқан сайын тығыздық пен құрғақ заттар мөлшерінің төмендеу үрдісі байқалып, бұл олардың химиялық құрам ерекшеліктерімен түсіндірілді. Эксперименттік деректер пастерлеудің микробиологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз ете отырып, биологиялық құндылығы жоғары компоненттердің сақталуына мүмкіндік беретін оңтайлы режимдерін ғылыми негіздеуге жол ашты. Алынған нәтижелер балалар тағамына арналған көпкомпонентті сүт өнімдерінің рецептурасы мен технологиясын жетілдіруде қолдануға ұсынылады.

Тірек сөздер: сиыр сүті, ешкі сүті, бие сүті, сүт қоспасы, пастеризация.

Тултабаева, Т.Ч. Пастерлеу режимдерінің аралас сүт қоспаларына әсерін зерттеу [Мәтін] / Т.Ч. Тултабаева, Г.Н. Жакупова, К.К. Макангали, А.Т. Сағандық, А.Х. Мулдашева, А.Т. Ахметжанова, Қ.Ш.Даирова // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №2(92). – Б.40-53. https://doi.org/10.55956/CMHY8367

Кіріспе. Балалардың қауіпсіз және толыққанды тамақтануын қамтамасыз ету қазіргі заманғы тамақ өнеркәсібінің басым міндеттерінің бірі.

Еңбек ресурстарын дамыту орталығының (ЕРДО) мамандары әзірлеген демографиялық болжамға сәйкес, Қазақстан Республикасында орта және ұзақ мерзімді кезеңде халық санының тұрақты өсуі күтіледі. Туу деңгейі, өлім-жітім және көші-қон көрсеткіштерін талдау нәтижелері бойынша, демографиялық даму сценарийіне байланысты 2030 жылға қарай ел халқының саны 21,5 млн адамға дейін ұлғаюы мүмкін [1].

Ұзақ мерзімді демографиялық болжамға сәйкес, мектеп жасындағы (6-18 жас) халық саны 2027 жылға қарай 5 миллионға дейін артады, 2036 жылдан 2050 жылға дейін саны 6,5 миллионға жетеді [2].

Қазақстан халқының жас құрылымы жағынан теңгерімді сипатқа ие және жастар үлесінің айтарлықтай жоғары болуымен ерекшеленеді. 1-суретте Қазақстандағы жас құрылымына қарай бөліну категорияларының үлесі көрсетілген [3].

Сурет 1. Қазақстан халқының жас құрылымы, 2025 жыл

Диаграммаға сәйкес, Қазақстан халқының шамамен үштен бірін – 29,1% – 0-14 жас аралығындағы балалар мен жасөспірімдер құрайды. Жалпы алғанда, 25 жасқа дейінгі тұрғындар ел халқының 42,4%-ын қалыптастырады.

Оған қоса, 2020 жылдың наурыз айынан бастап коронавирус инфекциясының кең ауқымда таралуы азық-түліктің бірінші кезектегі түрлеріне сұраныстың айтарлықтай артуына әкелді. Азаматтар үшін аса қажетті өнімдер қатарында балалар тағамы да ерекше орын алды.

Демографиялық өсім жағдайында сапалы әрі қауіпсіз балалар тағамына деген қажеттілік күшейе түсуде. Осы үрдістер балалар тағамын әзірлеу мен жетілдіруді ғылыми, әлеуметтік және экономикалық тұрғыдан өзекті бағыттардың біріне айналдырып отыр.

Сиыр сүтінің ақуызына төзбеушіліктің таралуы жағдайында шикізаттың балама түрлерін қолдана отырып, аралас сүт өнімдерін жасау өзекті болып отыр. Ешкі мен бие сүтінің биологиялық құндылығы мен сіңімділігі жоғары және аллергендік әлеуеті төмен, бұл оларды балалар тағамының перспективалы компоненттеріне айналдырады.

Бие сүтіне деген қызығушылық ТМД елдерінде ғана емес, алыс шетелдерде де кеңінен байқалады. Бұл бағыт Германияда ерекше қарқынды

дамып отыр, онда табиғи бие сүті шала туған нәрестелерді емдеу мен олардың өмірлік жағдайын қолдауда пайдаланылады. Бие сүтін қолданудың маңызды себебінің бірі – оның құрамында бактериялар мен вирустарды бейтараптандыратын көптеген антиденелердің болуы. Сонымен қатар, оның құрамы ана сүтіне жақын, осыған байланысты дәрігерлер бие сүтін шала туған балалардың иммунитетін нығайту және жалпы жағдайын жақсарту мақсатында жиі ұсынады [4].

Келесі кестеде ана, бие мен сиыр сүттерінің химиялық құрамы көрсетілген.

Кесте 1

Ана, бие және сиыр сүттерінің химиялық құрамы

Сүттер	Лактоза, %	Ақуыз мөлшері, %	Май мөлшері, %	Минералды тұздар, %	Құрғақ зат мөлшері, %
Ана	6,29	2,2	3,76	0,31	12,6
Бие	6,7	2,0	2,0	0,3	11,0
Сиыр	4,7	3,0	3,7	0,7	12,5

1-кестеден байқап тұрғанымыздай, бие сүті ақуыз мөлшері бойынша ана сүтіне ұқсайды, екеуінде де шамамен 2% ақуыз бар. Олардың ақуыз құрамы мен аминқышқылдарының жиынтығы өте ұқсас [5]. Бие сүтінде алмастырылмайтын және алмастырылатын аминқышқылдары бар, олардың құрамына валин (110 мг/%), изолейцин (117 мг/%), лейцин (174 мг/%), лизин (185 мг/%), метионин (233 мг/%), глутамин қышқылы (298 мг/%), аспарагин қышқылы (181 мг/%), аланин (140 мг/%), аргинин (135 мг/%) және пролин (127 мг) [6] жатады.

Еуропаның басқа бірқатар елдерінде бие сүті өзге бағыттарда да қолданыс тапқан. Атап айтқанда, Францияда, Бельгияда және Нидерландта ол косметикалық мақсатта пайдаланылып, оның негізінде сусабындар, кремдер, майлар, сабындар және басқа да өнімдер өндіріледі [7]. Бельгияда бие сүтін өндіру көлемі едәуір жоғары деңгейде, бұл елде ол құрғақ сүт түрінде де, сондай-ақ жаңа немесе мұздатылған күйінде де сатылымға шығарылады. Австрияда құрғақ бие сүті емдік тағам ретінде қолданылып, селен, мырыш және кремний сияқты микроэлементтермен байытылады [8].

Қазақстанда бие сүтін өнеркәсіптік деңгейде өндіру әзірге кең таралмаған. Дегенмен, жекелеген өңірлерде сүт бағытындағы жылқы шаруашылығы табысты дамып келеді және бие сүті негізінде балалар тағамын өндіруге бағытталған өнімдерді әзірлеу үшін қажетті алғышарттар бар.

Балалар тағамын дайындау технологиясының маңызды кезеңі тағамдық және биологиялық құндылығын сақтай отырып, микробиологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз ететін пастерлеу процесі болып табылады. Дегенмен, оңтайлы температура мен уақыт режимдерін таңдау, әсіресе термиялық әсерге сезімтал аралас сүт қоспалары үшін ғылыми негіздемені қажет етеді. Осыған байланысты пастерлеу режимдерінің және компоненттердің арақатынасының балалар тағамына арналған сүт қоспаларының физика-химиялық және органолептикалық көрсеткіштеріне әсерін кешенді зерттеу өзекті болып табылады.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Эксперименттік зерттеулер сүт өнеркәсібі және балалар тағамы өнімдерін өндіру саласында зерттеулер

жүргізуді регламенттейтін қолданыстағы нормативтік құжаттардың талаптарын сақтай отырып, «Инжиниринг және азық-түлік технологиясы» институтының ғылыми-зерттеу зертханасы жағдайында орындалды. Зерттеу нысандары химиялық құрамы, ақуыз фракцияларының құрылымы және май фазасының физика-химиялық сипаттамалары бойынша ерекшеленетін сиыр, ешкі және бие сүті негізінде құрылған аралас сүт қоспалары болды. Зерттеу барысында «Моя Ферма» ЖШС-тен алынған симменталь тұқымды сиыр сүті, «Арка Зеренда» ЖШС-тен алынған заанен тұқымды ешкі сүті, сондай-ақ жергілікті тұқымды биенің сүті пайдаланылды.

Сүтті қабылдау және сынама алу СТ ҚР ISO 707-2011 және МЕМСТ 3622-68 стандарттарына сәйкес жүргізіледі. Композицияның барлық нұсқалары стандартталған технологиялық режимдерге сәйкес пастерленді. Бақылау үлгісі ретінде термиялық өңдеуден өткен сиыр сүті пайдаланылды.

Сүт шикізатын дайындау алдымен қабылдау және сүзу процесінен басталады, әрі қарай қалыпқа келтіру және термиялық өңдеуді қамтиды.

Пастерлеу режимдерінің келесі түрлері қолданылған болатын, оларды 2-кестеден байқауға болады [9].

Кесте 2

Сүтті пастерлеу режимдері

Пастерлеу режимдері	Пастерлеу температурасы, ºС	Пастерлеу ұзақтығы, t
1 режим – Ұзақ пастерлеу	63-65	30 мин
2 режим – Қысқа пастерлеу	72-76	15-20 секунд
3 режим – Жедел пастерлеу	85-90	5-10 секунд

Барлық үлгілер үш температуралық уақыт режимін қолдана отырып пастерленген болатын, 30 минут ішінде 63-65°С температурада ұзақ пастерлеу, 15-20 секунд 72-76°С температурада қысқа пастерлеу және 5-10 секунд 85-90°С температурада жедел пастерлеу.

Пастерлеудің әртүрлі режимдерінің сүт қоспаларының сапасына әсерін бағалау үшін келесі әдістер бойынша физика-химиялық талдаулар жүргізілді:

Белсенді қышқылдылық (pH) «МЕМСТ 26188-84 – Тағам өнімдері. pH анықтау әдісі» талаптарына сәйкес анықталды. Зерттеу барысында сутек иондарының концентрациясын сенімді әрі дәл бағалауды қамтамасыз ететін Atago pH-метрі қолданылды [10].

Титрленетін қышқылдылық (°Т) «МЕМСТ 3624-92 – Сүт және сүт өнімдері. Титрленетін қышқылдылықты анықтау әдісі» бойынша қышқыл-негіздік титрлеу әдісімен анықталды. Аталған әдіс өнім құрамында болатын барлық титрленетін қышқылдардың жиынтық мөлшерін интегралды түрде бағалауға мүмкіндік береді [11].

Ақуыздардың, майлардың массалық үлесі (%) Tango-R FT-NIR жақын инфрақызыл спектрометрінде өлшенді. Бұл әдіс жедел, үлгіні бұзбайтын және жоғары дәлдігімен сипатталатын аналитикалық тәсіл болып табылады.

Құрғақ заттардың массалық үлесі (%) «МЕМСТ 3626-73 – Сүт және сүт өнімдері. Құрғақ заттардың мөлшерін анықтау әдісі» талаптарына сәйкес рефрактометриялық әдіспен анықталды. Бұл әдіс үлгінің сыну көрсеткішін ондағы еріген қатты заттардың концентрациясымен байланыстыруға негізделген [12].

Сүт қоспасының органолептикалық көрсеткіштерін анықтау МЕМСТ 22935-2-2011 және МЕМСТ 28283-2015 стандарттарына сәйкес жүргізілді [13,14].

Сүт қоспаларының тығыздығы «МЕМСТ Р 54758-2011 Сүт және сүт өңдеу өнімдері. Тығыздықты анықтау әдістері» стандарты бойынша анықталды [15].

Балалар тағамына арналған сүт қоспасының органолептикалық қасиеттерін бағалау мақсатында әзірленген композицияларға дегустациялық бақылау жүргізілді. Дегустацияға «Инжиниринг және азық-түлік технологиясы» институтының студенттері мен профессорлық-оқытушылық құрамы қатысты. Қатысушылардың жалпы саны 28 адамды құрады, оның ішінде 11 оқытушы және 17 студент болды. Дәм тату 20 ± 2°С температурада және шашыраңқы күндізгі жарықта жүргізілді. Сенсорлық бағалау бес балдық шкала бойынша жүргізілді, мұнда 5 балл өте жақсы органолептикалық сипаттамалары бар үлгілерге және айқын ақаулары немесе стандарттан ауытқулары бар үлгілерге 1 балл сәйкес келді. Сенсорлық бағалау нәтижелері орташа мәндер мен стандартты ауытқуларды есептеу арқылы статистикалық өңделді.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Пастерлеу – бұл балалар тағамына арналған сүт өнімдерін өндірудің міндетті кезеңі. Оның негізгі мақсаты – микробиологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету және өнімнің тағамдық және биологиялық құндылығын төмендетпей сақтау мерзімін ұзарту. Жылулық өңдеу өнімнің бұзылу процестеріне қатысатын бірқатар ферменттердің белсенділігін ішінара төмендетіп, шикізаттың жалпы тұрақтылығын арттыруға ықпал етеді.

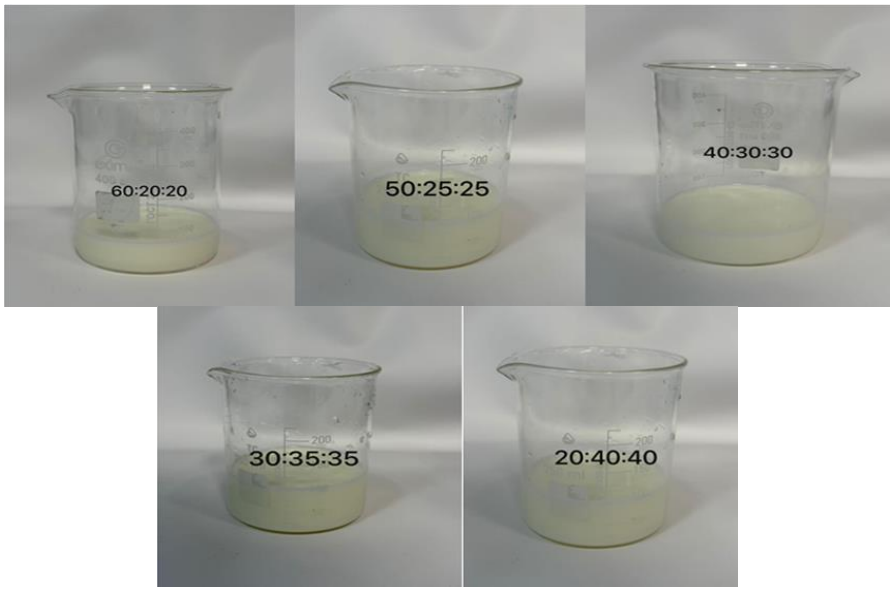
Кейбір ақуыздардың ішінара денатурациялануына қарамастан, пастерлеудің қазіргі заманғы режимдері сүттің негізгі қоректік заттары мен функционалдық ақуыздарының басым бөлігін сақтауға мүмкіндік береді, бұл процесті тағамдық құндылық тұрғысынан негізді деп санауға жағдай жасайды [16]. Пастерлеудің маңызы балаларға арналған тағам өнімдерін өндіруде айрықша, өйткені бұл санаттағы өнімдерге тұтынушылардың физиологиялық ерекшеліктерін ескере отырып, микробиологиялық қауіпсіздік бойынша анағұрлым жоғары талаптар қойылады.

Аралас қоспа келесі сүт түрлерінің құрамынан тұрады: сиыр/ешкі/бие сүттері (%) :

- Үлгі 1: 60/20/20;
- Үлгі 2: 50/25/25;
- Үлгі 3: 40/30/30;
- Үлгі 4: 30/35/35;
- Үлгі 5: 20/40/40.

Органолептикалық зерттеуге сәйкес, 1-үлгі (60:20:20) қою консистенцияға ие, айқын ақ түсті және сиыр сүтіне тән иісі бар. 2-үлгі (50:25:25) сұйық консистенциямен сипатталады, түсі сәл сарғыш, ұйытылған сүттің иісі жағымды сезіледі. 3-үлгі (40:30:30) біртекті консистенцияға ие, түсі ақ-сүтті, ешкі сүтінің айқын иісі сезіледі. 4-үлгінің (30:35:35) консистенциясы сұйық, сарғыш реңк байқалады, бұл ешкі мен бие сүтінің көп мөлшерінің әсерінен болуы мүмкін, олар жұмсақ үйынды түзетін ұсақ дисперсті майдың болуымен сипатталады. 5-үлгі (20:40:40) келесідей сипаттамаларды көрсетті – қоюлығы аз үлгі, ең сұйық құрылым, ең аз коагуляция қабілетімен сипатталды.

2-суретте балалар тағамына арналған аралас сүт қоспалары үлгілері келтірілген.



Сурет 2. Аралас қоспадан алынған сүттің жалпы көрінісі

Органолептикалық бағалау кезінде балаларға арналған тағамның консистенциясы жұмсақ, біркелкі және барлық көлемі бойынша тұрақты болуы тиіс, әрі фазалық бөлініс белгілерінен айрық болуы қажет. Эмульсияның ұсақ дисперсті құрылымы өнімнің физика-химиялық тұрақтылығын және технологиялық өңдеу параметрлерінің дұрыс таңдалғанын көрсетеді. Өнімнің жұмсақ әрі икемді текстурасы тұтынушылардың жас ерекшеліктеріне (жануарларды жұту мен сіңіру ерекшеліктеріне) жақсы бейімделгенін айқындайды. Құм тәрізді, дәнекерлі немесе судай көп судаған бөліктердің жоқтығы шикізаттың жоғары сапасы мен жылулық-механикалық өңдеудің дұрыстығын растауға мүмкіндік береді [17].

Әрі қарай дәм тату арқылы үлгілерді бағалау жүргізілді. Дегустация нәтижелері әрі қарай өңделіп, келесі 3-кестедегі нәтижелерге ие болды.

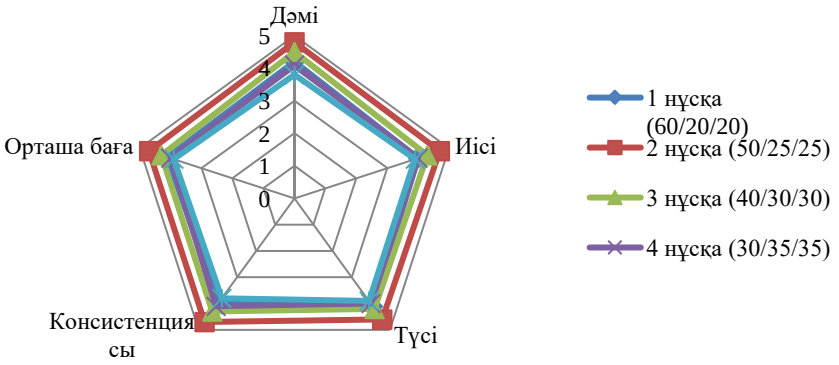
Кесте 3

Сүт қоспаларының дегустация нәтижелері

№	Құрамы (сиыр /ешкі /бие, %)	Дәмі	Иісі	Түсі	Консистенция	Орташа балл
n=28						
1	1-үлгі (60/20/20)	4,2	4,0	4,1	4,0	4,1
2	2-үлгі (50/25/25)	4,8	4,7	4,6	4,7	4,7
3	3-үлгі (40/30/30)	4,5	4,3	4,2	4,3	4,3
4	4-үлгі (30/35/35)	4,1	4,0	4,0	4.1	4,0
5	5-үлгі (20/40/40)	3,8	3,9	3,9	3,8	3,9

Кестеде ұсынылған органолептикалық бағалау нәтижелерін талдау зерттелген үлгілер арасында айқын айырмашылықтардың бар екенін көрсетті. Дәм көрсеткіші бойынша ең жоғары баға 2-үлгіге (50/25/25) тиесілі болды, бұл оның дәмдік қасиеттерінің үйлесімді әрі жағымды екенін көрсетеді. 1-үлгі (60/20/20) иіс, түс және консистенция көрсеткіштері бойынша тұрақты әрі қанағаттанарлық нәтижелер көрсетіп, жалпы органолептикалық

қасиеттерінің теңгерімділігімен сипатталды. 3-үлгі (40/30/30) орташа жоғары бағаларға ие болып, барлық көрсеткіштер бойынша салыстырмалы түрде біркелкі нәтиже көрсетті. Қоспалар құрамында ешкі және бие сүтінің үлесі артқан сайын (4 және 5-үлгілер) дәм, иіс және консистенция көрсеткіштерінің төмендегені байқалды, бұл өнімнің органолептикалық қабылдауына теріс әсер етті. Дәмдік бағалаудың жалпыланған нәтижелері 3-суретте келтірілген.



Сурет 3. Аралас сүт қоспасынан дайындалған балалар тағамының дегустация профилограммасы

Алынған мәліметтерге сәйкес, сиыр, ешкі және бие сүтінің 50:25:25 қатынасы бар сүт қоспасы ең жоғары органолептикалық баға алды (2-үлгі). Зерттелген үлгі бөгде дәмдердің болмауымен, үйлесімді дәмдік сипаттамасымен, нәзік сүтке тән хош иісімен, біркелкі консистенциясымен және ашық кремді түсімен сипатталды. 4 және 5 үлгі өнімінде айқындалған спецификалық дәмдік реңктердің пайда болуы, сондай-ақ консистенцияның біртектілігінің төмендеуі байқалды.

Одан әрі әртүрлі пастерлеу режимдері кезінде алынған сүт қоспаларының қышқылдық көрсеткіштері зерттелді. Төмендегі 4-кестеде белсенді қышқылдық (pH) және титрленетін қышқылдық бойынша алынған деректер келтірілген.

Кесте 4

Сүт қоспаларының әртүрлі пастерлеу режимдерінің қышқылдыққа әсері

1 режимдегі көрсеткіштер (ұзақ пастерлеу, 63-65°С)					
Көрсеткіштер	1-үлгі 60:20:20	2-үлгі 50:25:25	3-үлгі 40:30:30	4-үлгі 30:35:35	5-үлгі 20:40:40
1	2	3	4	5	6
n=3					
pH	6,88±0,52	6,85±0,75	6,80±0,85	6,88±0,12	6,95±0,36
Титрлік қышқылдық, °Т	19,1	18,2	16,8	18,2	19,6
2 режимдегі көрсеткіштер (қысқа мерзімді пастерлеу, 72-76°С)					
Көрсеткіштер	1-үлгі 60:20:20	2-үлгі 50:25:25	3-үлгі 40:30:30	4-үлгі 30:35:35	5-үлгі 20:40:40
n=3					
pH	6,80±0,50	6,8±0,15	6,6±0,44	6,6±0,12	6,4±0,57
Титрлік қышқылдық, °Т	19,7	19,8	20,5	20,4	21,5

4-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6
3 режимдегі көрсеткіштер (жедел пастерлеу, 85-90 °С)					
Көрсеткіштер	1-үлгі 60:20:20	2-үлгі 50:25:25	3-үлгі 40:30:30	4-үлгі 30:35:35	5-үлгі 20:40:40
n=3					
pH	6,2±0,14	6,4±0,82	6,2±0,08	6,2±0,45	6,4±0,25
Титрлік қышқылдық, °Т	27,1	32,2	36,7	32,5	30,9

Пастерлеу режимдеріне байланысты титрленетін қышқылдық пен pH зерттеулері пастерлеу температурасының жоғарылауымен титрленетін қышқылдықтың жоғарылайтынын көрсетті. 85-90°С температурада пастерлеу кезінде үлгілердің титрленетін қышқылдығы сүт өнімдеріне қойылатын талап нормасынан жоғары көтерілді. 1-режимді қолданған кезде үлгілердің барлық түрлері 19,1°Т -ден 19,6°Т -қа дейінгі шектерде болды.

Қысқа мерзімді пастерлеу кезінде титрленетін қышқылдық 5-нұсқадан басқа барлық нұсқаларда да қалыпты шектерде болды.

Алайда, 5-нұсқада титрленетін қышқылдық 21,5°Т құрады, бұл МЕМСТ талаптарына сәйкес келмейді, оған сәйкес сүттің титрленетін қышқылдығы 21°Т аспауы керек.

Зерттелген үлгілерде физика-химиялық көрсеткіштерге талдау жүргізілді. Деректер 5-кестеде келтірілген.

Кесте 5

Сүт қоспасының ұзақ пастерлеу кезіндегі физика-химиялық көрсеткіштері

Көрсеткіштер	1-үлгі (60:20:20)	2-үлгі (50:25:25)	3-үлгі (40:30:30)	4-үлгі (30:35:35)	5-үлгі (20:40:40)
n=3					
Майлардың массалық үлесі	0,77	0,90	1,16	1,05	1,06
Ақуыздардың массалық үлесі	2,71	2,59	2,50	2,30	2,31
Құрғақ қалдықтың мөлшері	7,66	7,31	7,04	6,50	6,59
Құрғақ заттардың құрамы	8,43	8,21	8,20	7,55	7,65
Тығыздық	28,45	27,07	25,89	23,91	21,91

Пастерлеу сүттің ақуыздық құрылымына, қышқылдығына, тұтқырлығына және басқа да физика-химиялық көрсеткіштеріне белгілі бір деңгейде әсер етеді [18]. Бұл ретте термиялық пастерлеу сүттің құрылымдық тұрақтылығы мен функционалдық қасиеттеріне ықпал ете отырып, жұмсақ режимдер қолданылған жағдайда оның қоректік құрамының елеулі бөлігінің сақталуын қамтамасыз етеді [19]. Кестеде көрсетілген физика-химиялық көрсеткіштер зерттелген үлгілер арасында айырмашылықтардың бар екенін көрсетеді. Майлардың массалық үлесі бойынша ең төмен мән 1-үлгіде (0,77%) байқалса, қоспалар құрамында ешкі және бие сүтінің үлесі артқан сайын май мөлшерінің жоғарылағаны анықталды, бұл олардың табиғи май құрамымен байланысты. Ақуыздардың массалық үлесі 1-үлгіден 5-үлгіге қарай біртіндеп төмендеді, бұл сиыр сүтінің ақуызға бай болуымен және оның үлесінің азаюымен түсіндіріледі.

Құрғақ қалдықтың мөлшері мен құрғақ заттардың құрамы да осы үрдісті көрсетті: сиыр сүтінің үлесі жоғары үлгілерде бұл көрсеткіштер жоғары мәндерге ие болды, ал ешкі және бие сүтінің үлесі артқан сайын төмендеу байқалды. Тығыздық көрсеткіші де үлгілер арасында жүйелі түрде азайып, бұл қоспаның құрамдық өзгеруімен және еріген қатты заттардың жалпы мөлшерінің төмендеуімен байланысты болды.

Ұзақ мерзімді пастерлеу нәтижесінде барлық үлгілерде физика-химиялық көрсеткіштердің айқын ауытқуы байқалмағанымен, ақуыздардың ішінара денатурациясы мен ылғалмен өзара әрекеттесуінің өзгеруі құрғақ заттар мен тығыздық көрсеткіштеріне белгілі бір деңгейде әсер етті. Сонымен қатар, пастерлеу процесі өнімдердің құрылымдық тұрақтылығын қамтамасыз етіп, өлшенген параметрлердің қайта өндірілуіне мүмкіндік берді. Жалпы алғанда, ұзақ пастерлеу зерттелген сүт қоспаларының физика-химиялық қасиеттерін тұрақтандырып, олардың салыстырмалы талдауын жүргізуге қолайлы жағдай жасады [20].

6-кестеде сүт қоспасының қысқа мерзімді пастерлеу кезіндегі физика-химиялық көрсеткіштері көрсетілген.

Кесте 6

Сүт қоспасының қысқа мерзімді пастерлеу кезіндегі физика-химиялық көрсеткіштері

Көрсеткіштер	1-үлгі (60:20:20)	2-үлгі (50:25:25)	3-үлгі (40:30:30)	4-үлгі (30:35:35)	5-үлгі (20:40:40)
n=3					
Майлардың массалық үлесі	0,88	0,99	1,12	1,17	1,33
Ақуыздардың массалық үлесі	3,50	3,62	3,60	3,63	3,67
Құрғақ қалдықтың мөлшері	9,87	10,22	10,18	10,54	10,67
Құрғақ заттардың құрамы	10,75	11,21	11,31	11,71	12
Тығыздық	36,75	38,0	37,78	39,10	39,48

Кесте 6-да қысқа мерзімді пастерлеу жағдайында алынған сүт қоспаларының физика-химиялық көрсеткіштері берілген. Алынған нәтижелер үлгілер арасында бірқатар айырмашылықтардың бар екенін көрсетеді. Майлардың массалық үлесі 1-үлгіден 5-үлгіге қарай біртіндеп 0,88-ден 1,33-ке дейін артты, бұл қоспалар құрамындағы ешкі және бие сүтінің үлесінің көбеюімен байланысты. Ақуыздардың массалық үлесі барлық үлгілерде салыстырмалы түрде тұрақты болып, айқын ауытқулар байқалмады.

Құрғақ қалдықтың мөлшері мен құрғақ заттардың құрамы үлгілер арасында өсім тенденциясын көрсетті, әсіресе 4 және 5-үлгілерде жоғары мәндер тіркелді. Бұл көрсеткіштердің артуы еріген қатты заттардың сақталуымен және жылулық өңдеудің салыстырмалы түрде жұмсақ режимімен түсіндіріледі. Тығыздық мәндерінің де үлгілер бойынша жоғарылауы құрғақ заттар мөлшерінің артуымен тікелей байланысты.

Қысқа мерзімді пастерлеу жүргізілгеннен кейін барлық үлгілерде физика-химиялық көрсеткіштердің тұрақты деңгейде сақталды, ал құрылымдық қасиеттердің елеулі бұзылуы тіркелмеді. Бұл өңдеу режимі өнімнің негізгі құрамдық компоненттерін сақтауға мүмкіндік беріп,

зерттелген қоспаларды өзара салыстыру үшін қолайлы жағдай қалыптастырды. Тұтастай алғанда, қысқа мерзімді пастерлеу сүт қоспаларының физика-химиялық қасиеттеріне айтарлықтай әсер етпеді.

Кесте 7

Сүт қоспасының жедел пастерлеу кезіндегі физика-химиялық көрсеткіштері

Көрсеткіштер	1-үлгі (60:20:20)	2-үлгі (50:25:25)	3-үлгі (40:30:30)	4-үлгі (30:35:35)	5-үлгі (20:40:40)
n=3					
Майлардың массалық үлесі	1,49	1,68	1,69	2,13	2,39
Ақуыздардың массалық үлесі	3,39	3,92	4,01	4,10	4,26
Құрғақ қалдықтың мөлшері	9,62	11,08	11,34	11,61	12,09
Құрғақ заттардың құрамы	11,11	12,76	13,04	13,74	14,49
Тығыздық	35,40	40,81	41,81	42,56	44,20

Кестеде берілген деректерге сәйкес, майлардың массалық үлесі 1-үлгіде 1,49% болса, 5-үлгіде 2,39%-ға дейін артты. Ақуыздардың массалық үлесі 1-үлгідегі 3,39%-дан 5-үлгіде 4,26%-ға дейін өсті. Құрғақ қалдықтың мөлшері 1-үлгіде 9,62%, ал 5-үлгіде 12,09% деңгейінде тіркелді. Құрғақ заттардың құрамы үлгілер бойынша 11,11%-дан 14,49%-ға дейін артты. Тығыздық көрсеткіші 1-үлгідегі 35,40 мәнінен 5-үлгіде 44,20-ға дейін жоғарылағаны анықталды.

Қысқа мерзімді пастерлеу ең қолайлы органолептикалық көрсеткіштерді қамтамасыз етті, қоспалардың дәмі мен хош иісі жұмсақ күйінде сақталып, термиялық өңдеудің айқын белгілері байқалмады, ал түсі табиғи қалпын жоғалтқан жоқ.

Жедел пастерлеу микрофлораны тиімді инактивациялауды қамтамасыз еткенімен, өнім сапасына қатысты бірқатар қолайсыз өзгерістермен қатар жүрді. Атап айтқанда, қоспалардың түсінің күңгірттенуі, дәмнің табиғилығының төмендеуі және тұнбаның пайда болуы тіркелді, бұл аталған режимнің балалар тағамы үшін қолайсыз екенін айқындайды.

Ұзақ мерзімді пастерлеу кезінде құрылымның босаңсуы және консистенцияның біртектілігінің төмендеуі байқалды. Сонымен қатар жоғары температура мен ұзақ әсер ету дәрумендердің (С дәрумені, В тобының дәрумендері, каротиноидтар) ішінара жойылуына, өнімнің түсі мен хош иісінің өзгеруіне әкелетіні анықталды, бұл балалар тағамына қойылатын талаптарға сәйкес келмейді .

Осылайша, алынған нәтижелерді кешенді талдау негізінде сүт құрамының барлық зерттелген нұсқалары үшін микрофлораны тежеуді қамтамасыз ете отырып, өнімнің табиғи дәмі, құрылымдық тұрақтылығы және тағамдық құндылығын барынша сақтайтын пастерлеудің оңтайлы режимі таңдалды – қысқа мерзімді пастерлеу.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде сиыр, ешкі және бие сүтіне негізделген балалар тағамына арналған аралас сүт қоспасын алудың ұтымды технологиялық параметрлері негізделген. Физика-химиялық, органолептикалық және технологиялық көрсеткіштердің оңтайлы үйлесімі 72-76°С температурада қысқа мерзімді пастерлеуді қолдану арқылы қол

жеткізілетіні анықталды. Бұл режимде сүт қоспаларының консистенциясы бірқалыпты, дәмі өзіне тән сүтті болып, бөгде иістер байқалмады.

Тағамдық құндылығы, қышқылдығы, тығыздығы және тұтынушылық қасиеттері бойынша ең теңдестірілген – сиыр, ешкі және бие сүтінің 50:25:25 қатынасы бар қоспаның нұсқасы. 2-үлгі пастерлеу барысында да бірқалыпты оң көрсеткіштерге ие болды. Бұл композиция жақсы сіңімділігі мен жоғары органолептикалық сипаттамаларын сақтай отырып, ақуыздың жеткілікті мөлшерін қамтамасыз етеді, бұл әсіресе балалар тағамы үшін өте маңызды.

Алынған нәтижелер балалар тағамына бағдарланған аралас сүт өнімдерін өндірудің рецептуралары мен технологиялық схемаларын әзірлеу кезінде пайдаланылуы мүмкін, сондай-ақ өнеркәсіптік енгізу кезінде пастерлеу құрамы мен режимдерін таңдаудың ғылыми негіздемесі ретінде қызмет етеді.

Әдебиеттер тізімі

1. К 2050 году население Казахстана может превысить отметку в 27 млн [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.gov.kz/memleket/entities/enbek/press/news/details/407030?lang=ru.
2. Долгосрочный демографический прогноз [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.enbek.kz/ru/node/5310.
3. Kazakhstan Population Pyramid (2025) [Electronic resource]. – Access mode: https://www.populationpyramids.org/kazakhstan?utm.
4. Имашева, А.Р. Польза кобыльего молока: состав и лечебные качества [Текст] / А.Р. Имашева, К.Д. Фархутдинов // Международный студенческий научный вестник. – 2025.
5. Любимова, Ю.Г. Жирные кислоты кобыльего молока и их значение в питании человека (аналитический обзор) [Текст] / Ю.Г. Любимова, В.А. Терещенко, Е.А. Иванов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2020. – № 164. – С. 1-9.
6. Онегов, А.В. Совершенствование получения молока в молочном коневодстве [Текст] / А.В. Онегов, Е.Д. Чиргин // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». – 2015. – С. 34-38.
7. Wlazło Ł., et al. Study of Hygienic Quality of Mare’s Milk and Its Use in the Development of Natural Cosmetics // Applied Sciences. – 2025. – Vol. 15, No. 16. – Art. 9104.
8. Ghandour M., Zollmann H., Horsch A. The Application of Mare’s Milk in Medicine: Does It Hold a Potential Therapeutic Value? // Nutrition and Dietary Supplements. – 2025. – P. 87-98.
9. Haas J., et al. Effects of high-temperature, short-time pasteurization on milk and whey during commercial whey protein concentrate production // Journal of Dairy Science. – 2025. – Vol. 108, No. 1. – P. 257-271.
10. ГОСТ 53359-2009. Молоко и продукты переработки молока. Метод определения pH [Текст]. – Введ. 2010-07-01. – Москва: Стандартинформ, 2009. – 11 с.
11. ГОСТ 3624-92. Молоко и молочные продукты. Метод определения титруемой кислотности [Текст]. – Введ. 1994-01-01. – Москва: Издательство стандартов, 1992. – 8 с.
12. ГОСТ 3626-73. Молоко и молочные продукты. Методы определения влаги и сухого вещества [Текст]. – Введ. 1974-07-01. – Москва: Издательство стандартов, 1974. – 10 с.
13. ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011. Молоко и молочные продукты. Органолептический анализ. Часть 2. Рекомендуемые методы

органолептической оценки [Текст]. – Введ. 2013-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2012. – 19 с.
14. ГОСТ 28283–2015. Молоко коровье. Метод органолептической оценки вкуса и запаха [Текст]. – Введ. 2016-07-01. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 8 с.
15. ГОСТ Р 54758–2011. Молоко и продукты переработки молока. Методы определения плотности [Текст]. – Введ. 2013-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2012. – 12 с.
16. Rabbani A., et al. Effect of Heat Pasteurization and Sterilization on Milk Safety, Composition, Sensory Properties, and Nutritional Quality // Foods. – 2025. – Vol. 14, No. 8. – Art. 1342.
17. Martin C., et al. Effect of a minimal processing route for the production of infant formulas on their sensory properties // Journal of Dairy Science. – 2024. – Vol. 107, No. 12. – P. 10527-10536.
18. Chen J., et al. Comparative study on microbiological, physicochemical and nutritional properties of whole cow milk by thermal and non-thermal processing technologies // Food Bioscience. – 2024. – Vol. 59. – Art. 104012.
19. Souleymane S., et al. Microbiological Quality of Raw and Pasteurized Milk from the Korhogo Dairy // American Journal of Microbiological Research. – 2024. – Vol. 12, No. 2. – P. 13-17.
20. Dash K. K., et al. A comprehensive review on heat treatments and related impact on the quality and microbial safety of milk and milk-based products // Food Chemistry Advances. – 2022. – Vol. 1. – Art. 100041.

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 16.01.26 түсті, 29.04.26 қабылданды.

Т.Ч. Тултабаева[1], Г.Н. Жакупова[1], К.К. Макангали[1], А.Т. Сағандык[1], А.Х. Мулдашева[1], А.Т. Ахметжанова[1], Қ.Ш. Даирова[1]

[1]Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ПАСТЕРИЗАЦИИ НА СМЕШАННЫЕ МОЛОЧНЫЕ СМЕСИ

Аннотация. В статье комплексно исследовано влияние различных режимов пастеризации на молочные смеси, приготовленные на основе коровьего, козьего и кобыльего молока в разных соотношениях. В ходе работы результаты органолептической оценки были рассмотрены во взаимосвязи с физико-химическими показателями, включая массовую долю жира и белка, содержание сухих веществ, плотность, а также титруемую и активную кислотность. Показано, что режим пастеризации оказывает влияние на состояние белково-фосфолипидных комплексов, определяя структурную устойчивость смесей и особенности их сенсорного восприятия. Установлено, что увеличение доли козьего и кобыльего молока в составе приводит к тенденции снижения плотности и содержания сухих веществ, что обусловлено спецификой их химического состава. На основе экспериментальных данных научно обоснованы режимы пастеризации, позволяющие обеспечить микробиологическую безопасность при одновременном сохранении биологической и пищевой ценности продукта. Полученные результаты

могут быть использованы при разработке рецептур и совершенствовании технологий многокомпонентных молочных продуктов, в том числе предназначенных для детского питания.

Ключевые слова: коровье молоко, козье молоко, кобылье молоко, молочная смесь, пастеризация.

T.Ch. Tultabayeva[1], G.N. Zhakupova[1], K.K. Makangali[1], A.T. Sagandyk[1], A.H. Muldasheva[1], A.T. Akhmetzhanova[1], K.Sh. Dairova[1]

[1]Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, Kazakhstan

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PASTEURIZATION REGIMES ON MIXED MILK MIXTURES

Abstract. The article presents a comprehensive study of the effects of various pasteurization regimes on milk blends formulated from cow, goat, and mare's milk in different proportions. The results of sensory evaluation were analyzed in conjunction with physicochemical parameters, including fat and protein mass fractions, total solids content, density, as well as titratable and active acidity. It was demonstrated that pasteurization conditions influence the state of protein–phospholipid complexes, thereby determining the structural stability of the blends and shaping their sensory perception. An increase in the proportion of goat's and mare's milk was found to be associated with a tendency toward reduced density and total solids, which can be attributed to the specific features of their chemical composition. Based on the experimental data, pasteurization regimes were scientifically substantiated that ensure microbiological safety while preserving the biological and nutritional value of the product. The findings may be applied in the development of formulations and the improvement of processing technologies for multicomponent dairy products, including those intended for infant and child nutrition.

Keywords: cow's milk, goat's milk, mare's milk, milk mixture, pasteurization.

References

1. By 2050, the population of Kazakhstan may exceed 27 million [Electronic resource]. – Access mode: https://www.gov.kz/memleket/entities/enbek/press/news/details/407030?lang=ru. [in Russian].
2. Long-term demographic forecast [Electronic resource]. – Access mode: https://www.enbek.kz/ru/node/5310. [in Russian].
3. Kazakhstan Population Pyramid (2025) [Electronic resource]. – Access mode: https://www.populationpyramids.org/kazakhstan?utm.
4. Imasheva A.R., Farkhutdinov K.D. Pol'za kobyl'ego moloka: sostav i lechebnye kachestva [Benefits of mare's milk: composition and medicinal properties] // International Student Scientific Bulletin. – 2025. [in Russian].
5. Lyubimova Yu.G. Zhirnye kisloty kobyl'ego moloka i ikh znachenie v pitanii cheloveka (analiticheskiy obzor) [Fatty acids of mare's milk and their importance in human nutrition (analytical review)] // Multidisciplinary Network Electronic Scientific Journal of Kuban State Agrarian University. – 2020. – No. 164. – P. 1-9. [in Russian].
6. Onegov A.V. Sovershenstvovanie polucheniya moloka v molochnom konevodstve [Improvement of milk production in dairy horse breeding] // Bulletin of Mari State University. Series "Agricultural Sciences. Economic Sciences". – 2015. – P. 34-38. [in Russian].

7. Wlazło Ł., et al. Study of Hygienic Quality of Mare's Milk and Its Use in the Development of Natural Cosmetics // Applied Sciences. – 2025. – Vol. 15, No. 16. – Art. 9104.
8. Ghandour M., Zollmann H., Horsch A. The Application of Mare's Milk in Medicine: Does It Hold a Potential Therapeutic Value? // Nutrition and Dietary Supplements. – 2025. – P. 87-98.
9. Haas J., et al. Effects of high-temperature, short-time pasteurization on milk and whey during commercial whey protein concentrate production // Journal of Dairy Science. – 2025. – Vol. 108, No. 1. – P. 257-271.
10. GOST 53359-2009. Moloko i produkty pererabotki moloka. Metod opredeleniya pH [Milk and dairy products. Method for determination of pH]. – Introduced. 2010-07-01. – Moscow: Standartinform, 2009. – 11 p. [in Russian].
11. GOST 3624-92. Moloko i molochnye produkty. Metod opredeleniya titruemoy kislotnosti [Milk and dairy products. Method for determination of titratable acidity]. – Introduced. 1994-01-01. – Moscow: Standards Publishing House, 1992. – 8 p. [in Russian].
12. GOST 3626-73. Moloko i molochnye produkty. Metody opredeleniya vlagi i sukhogo veshchestva [Milk and dairy products. Methods for determination of moisture and dry matter]. – Introduced. 1974-07-01. – Moscow: Standards Publishing House, 1974. – 10 p. [in Russian].
13. GOST R ISO 22935-2-2011. Moloko i molochnye produkty. Organolepticheskiy analiz. Chast' 2. Rekomenduemye metody organolepticheskoy otsenki [Milk and dairy products. Sensory analysis. Part 2. Recommended methods of sensory evaluation]. – Introduced. 2013-01-01. – Moscow: Standartinform, 2012. – 19 p. [in Russian].
14. GOST 28283-2015. Moloko korov'e. Metod organolepticheskoy otsenki vkusa i zapakha [Cow's milk. Method for organoleptic evaluation of taste and odor]. – Introduced. 2016-07-01. – Moscow: Standartinform, 2017. – 8 p. [in Russian].
15. GOST R 54758-2011. Moloko i produkty pererabotki moloka. Metody opredeleniya plotnosti [Milk and dairy products. Methods for determination of density]. – Introduced. 2013-01-01. – Moscow: Standartinform, 2012. – 12 p. [in Russian].
16. Rabbani A., et al. Effect of Heat Pasteurization and Sterilization on Milk Safety, Composition, Sensory Properties, and Nutritional Quality // Foods. – 2025. – Vol. 14, No. 8. – Art. 1342.
17. Martin C., et al. Effect of a minimal processing route for the production of infant formulas on their sensory properties // Journal of Dairy Science. – 2024. – Vol. 107, No. 12. – P. 10527-10536.
18. Chen J., et al. Comparative study on microbiological, physicochemical and nutritional properties of whole cow milk by thermal and non-thermal processing technologies // Food Bioscience. – 2024. – Vol. 59. – Art. 104012.
19. Souleymane S., et al. Microbiological Quality of Raw and Pasteurized Milk from the Korhogo Dairy // American Journal of Microbiological Research. – 2024. – Vol. 12, No. 2. – P. 13-17.
20. Dash K.K., et al. A comprehensive review on heat treatments and related impact on the quality and microbial safety of milk and milk-based products // Food Chemistry Advances. – 2022. – Vol. 1. – Art. 100041.

ҒТАМР 65.59.23

А.А. Қайсарова[1] – *негізгі автор*, ©
А.У. Шингисов[2], А.К. Садибаев[3], М.Б. Кенжеханова[4]

[1]PhD докторант, [2]Техн. ғыдым. д-ры, профессор, [3]Техн. ғылым. канд., [4]PhD, доцент

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0003-4112-0220 [2]https://orcid.org/0009-0002-2097-194X [3]https://orcid.org/0000-0003-0427-3025 [4]https://orcid.org/0009-0009-4295-9416*

[1,2,4]М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан
[3]М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан

@ *[1]kaisarova-92@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/ODGU9402

АС ТҰЗЫ ТӨМЕНДЕТІЛГЕН ЕТ ЧИПСТЕРІНІҢ ТИІМДІ РЕЦЕПТУРАСЫН BOX–BEHNKEN ӘДІСІМЕН МОДЕЛЬДЕУ

Аңдатпа. Зерттеуде *Salicornia* өсімдігінен алынған табиғи ұнтақты қолдана отырып, ас тұзын ішінара алмастыру арқылы ет чипстерінің рецептурасын оңтайландыру мәселесі қарастырылды. Тұзды шамадан тыс қолданудың денсаулыққа зияндылығын ескере отырып, табиғи тұз алмастырғыш ретінде Созақ ауданы, Қызылкөл елді мекенінде өсетін *Salicornia* өсімдігінің кептірілген үстіңгі бөлігінен алынған ұнтақ пайдаланылды. Үш факторлы Box–Behnken әдісі негізінде екі түрлі рецептура құрастырылып, олардың органолептикалық қасиеттеріне әсер ететін факторлардың өзара тәуелділігі математикалық модельдеу арқылы анықталды. Модельдердің адекваттығы Design-Expert бағдарламасы көмегімен тексерілді. Нәтижелер *Salicornia* ұнтағы қосылған чипстердің тұтынушылар тарапынан жоғары бағаланғанын көрсетті: №1 рецептура бойынша оптималды көрсеткіш Y ≈ 8,9, №2 рецептурада Y ≈ 9,0 болды. *Salicornia* қоспасын қолдану ас тұзын 50%-ға дейін алмастыруға мүмкіндік беріп, өнімнің дәмдік және технологиялық қасиеттерін сақтауға мүмкіндік беретіні дәлелденді.

Тірек сөздер: Salicornia, ет чипстері, ішінара алмастыру, тұзды төмендету, Box–Behnken, Design-Expert, оптимизация, органолептика.

Қайсарова, А.А. Ас тұзы төмендетілген ет чипстерінің тиімді рецептурасын Box–Behnken әдісімен модельдеу [Мәтін] / А.А. Қайсарова, А.У. Шингисов, А.К. Садибаев, М.Б. Кенжеханова // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №2(92). – Б.54-62. https://doi.org/10.55956/ODGU9402

Кіріспе. Ас тұзы (натрий хлориді) адам ағзасының қалыпты жұмыс істеуіне қажет компоненттердің бірі болғанымен, оның шамадан тыс мөлшері денсаулыққа едәуір зиян келтіреді. Көп мөлшерде тұз тұтыну гипертония, жүрек-қан тамыр аурулары, бүйрек пен асқазан ауруларының даму қаупін арттыратыны ғылыми еңбектерде дәлелденген [1,2]. Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымы ересек адамдарға тәулігіне 5 грамнан аспайтын тұз қолдануды ұсынады. Алайда Қазақстанда бұл нормадан асыра қолдану кең тараған.

Ет чипстері көптеген жас тұтынушылар арасында сұранысқа ие өнім болғанына қарамастан, олардың дәстүрлі рецептурасында тұз мөлшері

жоғары. Бұл өнімді жиі пайдаланатын тұтынушылардың денсаулығына кері әсерін тигізуі мүмкін. Осыған байланысты тұз мөлшері төмен, бірақ дәмдік сапасы сақталған альтернативті өнімдер жасау өзекті міндет болып табылады [3-5].

Табиғи тұз алмастырғыш ретінде Salicornia өсімдігі соңғы жылдары тағам өнеркәсібінде ерекше назарға ие [5-7]. Оның құрамында натрий мен хлордың табиғи тұздары, сондай-ақ магний, калий, кальций және кремний сияқты минералдар бар [6]. Бұл оның тағамдық өнімдердегі тұздың бір бөлігін алмастыруға қолайлы екенін көрсетеді.

Осы зерттеудің ғылыми жаңалығы – *Salicornia* ұнтағын ет чипстерінің құрамында ас тұзын ішінара алмастыру үшін қолдана отырып, Box–Behnken әдісі арқылы екі рецептураны математикалық модельдеу және олардың тиімді құрамын анықтау. Осыған байланысты зерттеудің мақсаты- Salicornia өсімдігінен алынған ұнтақты пайдалана отырып, ас тұзы төменделілген ет чипстерінің рецептурасын әзірлеу және Box–Behnken әдісі негізінде оргонептикалық көрсеткіштерін оңтайландыру болып табылады.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Зерттеу ас тұзы төмендетілген ет чипстерінің тиімді рецептурасын әзірлеуге және олардың органолептикалық қасиеттерін оңтайландыруға бағытталды. Зерттеу объектісі ретінде *Salicornia* өсімдігінің ұнтағын пайдалана отырып дайындалған құрамдастырылған ет чипстері алынды.

Табиғи тұз алмастырғыш ретінде Созақ ауданы, Қызылкөл елді мекенінде өсетін Salicornia өсімдігінің үстіңгі бөлігі қолданылды. Өсімдік шикізаты 50-55°С температурада кептіріліп, кейін майда дисперсті ұнтақ күйіне дейін ұнтақталды.

Зерттеу барысында екі түрлі рецептура қарастырылды:

– №1 рецептура – сиыр еті, тауық еті және Salicornia ұнтағы қосылған ет чипстері;

– №2 рецептура – жылқы еті, тауық еті және Salicornia ұнтағы қосылған ет чипстері.

Рецептура құрамын оңтайландыру үшін үш факторлы, үш деңгейлі Box–Behnken эксперименттік жоспары қолданылды [9]. Зерттеу факторлары ретінде ет шикізатының мөлшері (m_1, m_2) және *Salicornia* ұнтағының мөлшері (m_3) таңдалды. Әр фактор үшін төменгі (–1), орташа (0) және жоғарғы (+1) деңгейлер белгіленді. Әр рецептура бойынша тәжірибелер саны N = 15, нөлдік нүктелер саны n_0 = 3 болды.

Эксперимент нәтижелері екінші ретті регрессиялық теңдеулер көмегімен математикалық модельденді. Модельдерді құрастыру және олардың адекваттылығын бағалау Design-Expert 13 бағдарламасы арқылы жүзеге асырылды. Модельдердің сенімділігі Фишер критерийі бойынша тексерілді.

Зерттеудің негізгі жауап функциясы ретінде ет чипстерінің органолептикалық көрсеткіштерінің интегралды бағасы (Y) алынды. Органолептикалық бағалау өнімнің сыртқы түрі, түсі, иісі, дәмі және консистенциясы бойынша жүргізілді. Бағалау 10 балдық шкала бойынша дегустациялық комиссия мүшелерімен орындалды.

Оңтайландырылған рецептуралар негізінде дайындалған ет чипстеріне физикалық-химиялық талдау жүргізілді. Атап айтқанда, дайын өнімнің массалық ылғал үлесі, құрғақ заттардың массалық үлесі, pH көрсеткіші және натрий хлоридінің массалық үлесі анықталды. Барлық өлшеулер стандартталған әдістемелерге сәйкес жүргізілді.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Әр рецептурада 3 фактор, 3 деңгей бойынша Box–Behnken дизайны жасалды. №1 рецептура бойынша ет чипстерінің органолептикалық көрсеткіштеріне әсер етуші фактордың өзгермелі деңгейлері мен интервалдары 1-кестеде көрсетілген.

Кесте 1

№1 рецептура бойынша ет чипстерінің органолептикалық көрсеткіштеріне әсер етуші фактордың өзгермелі деңгейлері мен интервалдары

Факторлар		Өзгермелі деңгейлер			Интервал
натуралды	коды	-1	0	+1	ε
Сиыр етінің мөлшері, m_1, г	x_1	55	60	65	5
Тауық етінің мөлшері, m_2, г	x_2	20	25	30	5
Salicornia ұнтағы, m_3, г	x_3	1	2	3	1

Үш факторлық Box- Behnken жоспарына сәйкес тәжірибелер саны N = 15 тең, нөлдік нүктелер саны n_0 = 3 тең.

Эксперименттік мәндерді өңдеу үшін Design-Expert 13 бағдарламасы қолданылды. Есептеулер нәтижесі 2-кестеде көрсетілген.

№1 рецептураны оңтайландыру математикалық үлгілері:

фактордың кодтық мәндерінде

$$y = 8{,}9 + 0{,}0375x_1 + 0{,}0375x_2 + 0{,}35x_3 + 0{,}05x_1x_2 - 0{,}025x_1x_3 + 0{,}025x_2x_3 - 0{,}375x_1^2 - 0{,}275x_2^2 - 1{,}1x_3^2 \quad (1)$$

натуралды белгілерде

$$Y = -55{,}06 + 1{,}7675m_1 + 0{,}4275m_2 + 4{,}925m_3 + 0{,}002m_1m_2 - 0{,}005m_1m_3 + 0{,}005m_2m_3 - 0{,}015m_1^2 - 0{,}011m_2^2 - 1{,}1m_3^2 \quad (2)$$

Кесте 2

№1 рецептура бойынша органолептикалық зерттеу нәтижелері

№	Факторлар						$y_и$	$\hat{y}$	$(y_u - \hat{y})^2$	$(y_{0i} - \bar{y}_0)^2$
	натуралды			кодты						
	m_1, г	m_2, г	m_3, г	x_1	x_2	x_3				
1	55	20	3	-1	-1	0	8,2	8,225	0,000625	
2	55	30	3	1	-1	0	8,2	8,2	0	
3	65	20	3	-1	1	0	8,2	8,2	0	
4	65	30	3	1	1	0	8,4	8,375	0,000625	
5	60	20	1	-1	0	-1	7	7,0125	0,000156	
6	60	30	1	1	0	-1	7,1	7,1375	0,001406	
7	60	20	3	-1	0	1	7,8	7,7625	0,001406	
8	60	30	3	1	0	1	7,8	7,7875	0,000156	
9	55	25	1	0	-1	-1	7,2	7,1625	0,001406	
10	65	25	1	0	1	-1	7,2	7,1875	0,000156	
11	55	25	3	0	-1	1	7,8	7,8125	0,000156	
12	65	25	3	0	1	1	7,9	7,9375	0,001406	
13	60	25	2	0	0	0	8,9	8,9	0	0
14	60	25	2	0	0	0	9	8,9	0,01	0,01
15	60	25	2	0	0	0	8,8	8,9	0,01	0,01
Σ							119,5		0,0075	0,02

Таңдаған құрамның дұрыстығын растау және тұтынушылардың қабылдау деңгейін анықтау мақсатында органолептикалық зерттеу жүргізілді. Зерттеу барысында өнімнің сыртқы түрі, түсі, дәмі, иісі және құрылымдық консистенциясы сынды көрсеткіштер бойынша бағалау жүргізілді. Бағалауға әртүрлі жастағы және талғам ерекшеліктері бар тұтынушылар (дегустациялық комиссия мүшелері) қатысты, 10 балдық шкала бойынша өнімнің сапасын бағалап, ұсынылған екі рецептураның артықшылықтары мен кемшіліктерін анықтады (2-кесте).

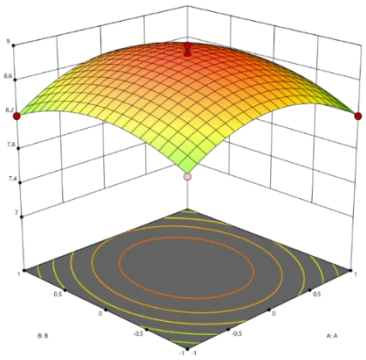
№1 рецептура бойынша ет чипстері органолептикалық көрсеткіштерінің сиыр мен тауық етінің және *Salicornia* ұнтағының мөлшеріне тәуелділігін анықталған соң, ет чипстерінің оптималды құрамын анықтау мақсатында теңдеуіне талдау жасалынды.

Талдау жасау үшін теңдеуінің сызбалары келесі жағдай үшін тұрғызылды (Design-Expert 13 бағдарламасынан алынады):

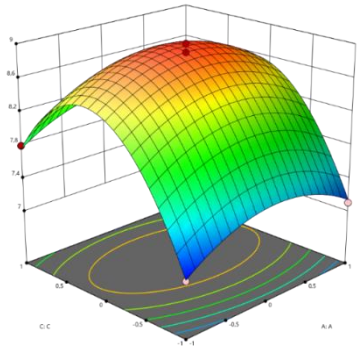
а) $f(x_1, x_2),\ x_3 = 0$ немесе $Y = f(m_1, m_2), m_3 = 2$ г (1-сурет а);

ә) $f(x_1, x_3),\ x_2 = 0$ немесе $Y = f(m_1, m_3), m_2 = 25$ г (1-сурет ә);

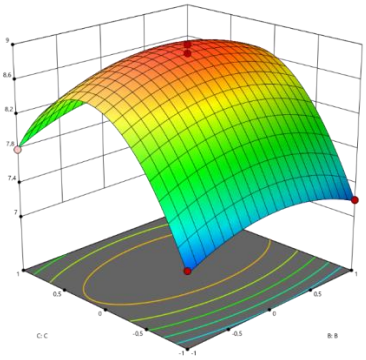
б) $f(x_2, x_3),\ x_1 = 0$ немесе $Y = f(m_2, m_3), m_1 = 60$ г (1-сурет б).



а



ә



б

Сурет 1. №1 рецептура бойынша ет чипстері органолептикалық көрсеткіштерінің Y тәуелділігі сызбасы

Талдау барысында келесі нәтижелерге қол жеткізілді:

– 1-сурет а: ет чипстері органолептикалық көрсеткіштерінің *Y* сиыр еті m_1 және тауық m_2 етінің мөлшеріне тәуелділігі көрсетілген. Суреттен сиыр еті

m_1 = 60,27 г және тауық еті m_2 = 25,37 г болғанда органолептикалық көрсеткіштің ең жоғары мәні Y = 8,9 тең екендігі анықталды. *Salicornia* ұнтағының мөлшері m_3 = 2 г тең.

– 1-сурет ә: сиыр етінің m_1 және *Salicornia* ұнтағының m_3 ет чипстері органолептикалық көрсеткіштеріне тауық еті m_2 = 25 г болған жағдайдағы әсерін көруге болады. Органолептикалық көрсеткіштердің ең жоғары мәніне Y = 8,93 сиыр етінің мөлшері m_1 = 60,22 г және *Salicornia* ұнтағының мөлшері m_3 = 2,16 г шамасында қол жеткізуге болатындығы анықталды.

– 1-сурет б: тауық етінің мөлшері m_2 = 25,38 г және *Salicornia* ұнтағының мөлшері m_3 = 2,16 г шамасында органолептикалық көрсеткіштердің ең үлкен мәні Y = 8,93% болатындығын көруге болады.

№1 рецептура бойынша математикалық модельдеу нәтижесінде анықталған оптималды құрам 3-кестеде көрсетілген.

Кесте 3

№1 рецептура бойынша математикалық модельдеу нәтижесінде анықталған оптималды құрам

Құрамы	Салмағы, г	Процеттік үлесі %
Сиыр еті	25,38	26,04
Тауықтың төс еті	60,27	59,45
Крахмал	6	6,17
Дәмдеуіштер	1	1,03
Ас тұзы	2	2,05
Salicornia ұнтағы	2,16	2,17
Қызылша шырыны	3	3,08
Барлығы	99,81	100

№2 рецептура бойынша ет чипстерінің органолептикалық көрсеткіштеріне әсер етуші факторларының өзгермелі интервалдары мен деңгейлері анықталды (4-кесте). Эксперименттік мәндерді математикалық өңдеу нәтижелері 5-кестеде көрсетілген.

Кесте 4

№2 рецептура бойынша ет чипстерінің органолептикалық көрсеткіштеріне әсер етуші фактордың өзгермелі деңгейлері мен интервалдары

Факторлар		Өзгермелі деңгейлер			Интервал
натуралды	коды	-1	0	+1	ε
Жылқы етінің мөлшері, m_1, г	x_1	20	25	30	5
Тауық етінің мөлшері, m_2, г	x_2	55	60	65	5
Salicornia ұнтағы, m_3, г	x_3	1	2	3	1

Кесте 5

№2 рецептура бойынша органолептикалық зерттеу нәтижелері зерттеу нәтижелері

№	Факторлар						$y_и$	$\hat{y}$	$(y_u - \hat{y})^2$	$(y_{0i} - \bar{y}_0)^2$
	натуралды			кодты						
	m_1, г	m_2, г	m_3, г	x_1	x_2	x_3				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	20	55	3	-1	-1	0	8	7,9	0,01	
2	20	65	3	1	-1	0	8	7,9	0,01	
3	30	55	3	-1	1	0	8	8,1	0,01	
4	30	65	3	1	1	0	8,2	8,3	0,01	

5-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	25	55	1	-1	0	-1	7	7,1	0,01	
6	25	65	1	1	0	-1	7,2	7,3	0,01	
7	25	55	3	-1	0	1	7,8	7,7	0,01	
8	25	65	3	1	0	1	7,8	7,7	0,01	
9	20	60	1	0	-1	-1	7	7	0	
10	30	60	1	0	1	-1	7,4	7,2	0,04	
11	20	60	3	0	-1	1	7,2	7,4	0,04	
12	30	60	3	0	1	1	7,8	7,8	0	
13	25	60	2	0	0	0	8,8	9		0,04
14	25	60	2	0	0	0	9	9		0
15	25	60	2	0	0	0	9,2	9		0,04
Σ							118,4		0,16	0,08

№2 рецептураны оңтайландыру математикалық үлгілері:
кодтық белгілерде

$$y = 9 + 0{,}05x_1 + 0{,}15x_2 + 0{,}25x_3 + 0{,}05x_1x_2 - 0{,}05x_1x_3 + 0{,}05x_2x_3 - 0{,}425x_1^2 - 0{,}525x_2^2 - 1{,}125x_3^2 \quad (3)$$

натуралды белгілерде

$$Y = -280{,}5 + 0{,}65m_1 + 9{,}58m_2 + 3{,}85m_3 + 0{,}004m_1m_2 - 0{,}01m_1m_3 + 0{,}02m_2m_3 - 0{,}017m_1^2 - 0{,}084m_2^2 - 1{,}125m_3^2 \quad (4)$$

№2 рецептура бойынша ет чипстері органолептикалық көрсеткіштерінің жылқы мен тауық етінің және *Salicornia* ұнтағының мөлшеріне тәуелділігін анықтаған соң, ет чипстерінің оптималды құрамын анықтау мақсатында теңдеуіне талдау жасалынды.

Талдау жасау үшін теңдеуінің сызбалары келесі жағдай үшін тұрғызылды (Design-Expert 13 бағдарламасынан алынады):

а) $f(x_1, x_2)$, $x_3 = 0$ немесе $Y = f(m_1, m_2), m_3 = 2$ г (2-сурет а);

ә) $f(x_1, x_3)$, $x_2 = 0$ немесе $Y = f(m_1, m_3), m_2 = 60$ г (2-сурет ә);

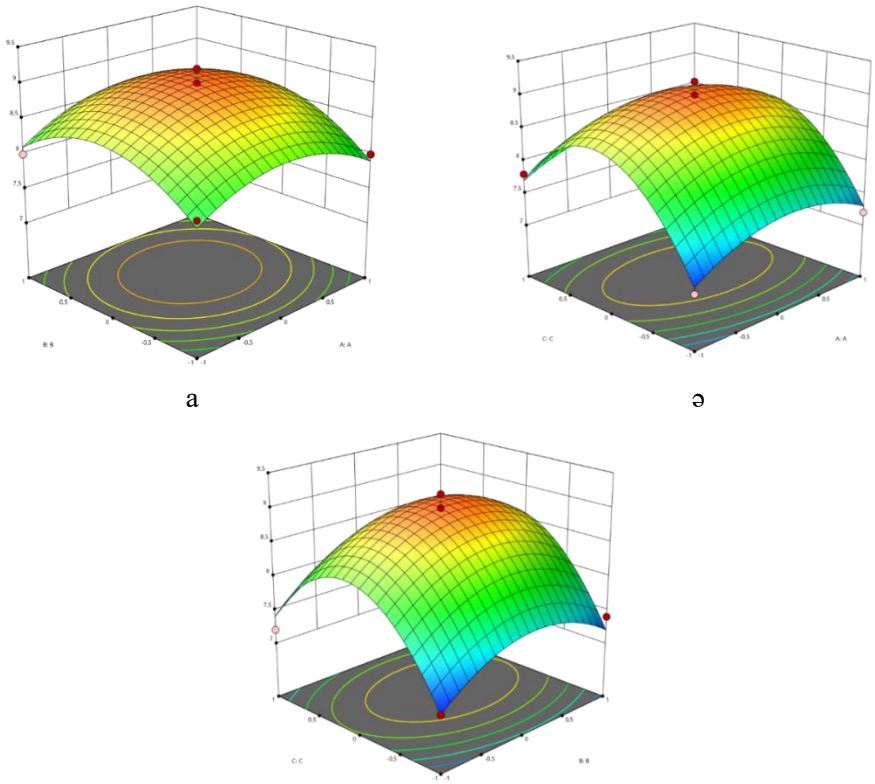
б) $f(x_2, x_3), x_1 = 0$ немесе $Y = f(m_2, m_3), m_1 = 25$ г (2-сурет б).

Талдау барысында келесі нәтижелерге қол жеткізілді:

– 2-сурет а: ет чипстері органолептикалық көрсеткіштерінің *Y* жылқы еті m_1 және тауық m_2 етінің мөлшеріне тәуелділігі көрсетілген. Суреттен жылқы еті m_1 = 25,34 г және тауық еті m_2 = 57,86 г болғанда органолептикалық көрсеткіштің ең жоғары мәні *Y* = 9,01 тең екендігі анықталды. *Salicornia* ұнтағының мөлшері m_3 = 2 г тең.

– 2-сурет ә: жылқы етінің m_1 және *Salicornia* ұнтағының m_3 ет чипстері органолептикалық көрсеткіштеріне тауық еті m_2 = 60 г болған жағдайдағы әсерін көруге болады. Органолептикалық көрсеткіштердің ең жоғары мәніне *Y* = 9,01 сиыр етінің мөлшері m_1 = 25,26 г және *Salicornia* ұнтағының мөлшері m_3 = 2,11 г шамасында қол жеткізуге болатындығы анықталды.

– 2-сурет б: тауық етінің мөлшері m_2 = 57,87 г және *Salicornia* ұнтағының мөлшері m_3 = 2,11 г шамасында органолептикалық көрсеткіштердің ең үлкен мәні *Y* = 9,02 % болатындығын көруге болады.



а ә

б

Сурет 2. №2 рецептура бойынша ет чипстері органолептикалық көрсеткіштерінің Y тәуелділігі сызбасы

Кесте 6

№2 рецептура бойынша математикалық модельдеу нәтижесінде анықталған оптималды құрам

Құрамы	Салмағы, г	Процеттік үлесі %
Жылқы еті	25,34	26,04
Тауықтың төс еті	57,87	59,45
Крахмал	6	6,17
Дәмдеуіштер	1	1,03
Ас тұзы	2	2,05
Salicornia ұнтағы	2,11	2,17
Қызылша шырыны	3	3,08
Барлығы	97,32	100

Зерттеу барысында *Salicornia* өсімдігінен алынған ұнтақты ас тұзын ішінара алмастыру арқылы ет чипстерінің рецептурасы Бокс–Бенкен әдісі негізінде оңтайландырылды. Математикалық модельдеу нәтижелері және органолептикалық бағалау деректері бойынша екі рецептура да жоғары тұтынушылық бағаларға ие екені анықталды.

№1 рецептура үшін ең қолайлы құрам – сиыр еті $m_1 \approx 60,2$ г, тауық еті $m_2 \approx 25,3$ г, Salicornia ұнтағы $m_3 \approx 4,3$ г, мұнда органолептикалық көрсеткіш $Y \approx 8,9$-$8,93$ деңгейіне жетеді.

№2 рецептура үшін оптималды құрам – жылқы еті $m_1 \approx 25,3$ г, тауық еті $m_2 \approx$ құрамдар 57,8-58,0 г, Salicornia ұнтағы $m_3 \approx 4,2$ г, мұнда органолептикалық көрсеткіш $Y \approx 9,0$-9,02 мәнін көрсетеді.

Фишер критерийі бойынша алынған математикалық модельдердің адекваттығы дәлелденді, бұл эксперименттік нәтижелердің сенімділігін көрсетеді.

Математикалық модельдеу нәтижесінде анықталған оңтайлы мөлшерді пайдалана отырып, құрамдастырылған ет чипстері дайындалды және өнімге физикалық-химиялық бағалау жүргізілді (7-кесте).

Кесте 7

Физикалық-химиялық бағалау нәтижелері

	№1 рецептура	№2 рецептура
Массалық ылғал үлесі	7,08 ±0,05	6,75 ± 0,05
Құрғақ заттардың массалық үлесі	92,92 ± 0,05	93,75 ± 0,05
pH деңгейі	5,47	5,21
Натрий хлоридінің массалық үлесі	8,46 ± 0,02	7,41 ± 0,02

Қорытынды. Зерттеу нәтижелері *Salicornia* ұнтағының қолданылуы функционалды ет чипстерінің құрамын теңестіріп, дәмдік және технологиялық қасиеттерін оңтайландыруға мүмкіндік беретіні анықталды. Әсіресе *Salicornia* ұнтағының құрамында табиғи тұздар мен минералдардың болуы – өнімдегі ас тұзының мөлшерін 50/50 қатынаста алмастыруға мүмкіндік бере отырып, дайын өнімнің дәмі мен құрылымын сақтайтынын көрсетті [7,9]. Бұл тұтынушылардың денсаулығына зиянын азайтып, тұзды тұтыну деңгейін төмендетуге бағытталған тиімді шешім болып табылады [10].

Әдебиеттер тізімі

1. Agócs R., Zsom-Muha V., Bella A., et al. Is too much salt harmful? Yes // Orvosi Hetilap. – 2019. – Vol. 160, No. 35. – P. 1379-1385.
2. Jaques D.A., Pontes J.F., Vogel G.F. Sodium Intake as a Cardiovascular Risk Factor: A Narrative Review // Nutrients. – 2021. – Vol. 13, No. 9. – P. 31-37.
3. Desmond E. Reducing salt: A challenge for the meat industry // Meat Science. – 2006. – Vol. 74, No. 1. – P. 188-196.
4. Ruusunen M., Puolanne E. Reducing sodium intake from meat products // Meat Science. – 2005. – Vol. 70, No. 3. – P. 531-541.
5. Horita C.N., et al. Strategies to reduce sodium content in meat products – A review // Meat Science. – 2011. – Vol. 88, No. 1. – P. 1-14.
6. Ferreira I., Fernandes I., Barreto A.S., et al. Sodium Reduction in Traditional Dry-Cured Pork Belly Using Glasswort (Salicornia herbacea) // Foods. – 2022. – Vol. 11, No. 23. – P. 1-12.
7. Sood S. Can samphire be the new salt? Understanding the potential of Salicornia species as salt substitutes // Food Research International. – 2024. – Vol. 174. – P. 74-75.
8. Box G.E.P., Behnken D.W. Some new three level designs for the study of quantitative variables // Technometrics. – 1960. – Vol. 2, No. 4. – P. 455-475.
9. Kaysarova A.A., Shyngysov A.U., Baranenko D.A. Et chipsterin ondiru retsepturasyna tuzdyn ornyna Salicornia osimdigin koldanu [Application of the Salicornia plant as a salt substitute in meat chip formulation] // Bulletin of Almaty Technological University. – 2024. – No. 3. – P. 39-45. [in Kazakh].
10. Inguglia E.S., et al. Salt reduction strategies in processed meat products // Trends in Food Science & Technology. – 2017. – Vol. 59. – P. 70-78.

Материал редакцияға 27.11.25 түсті, 24.05.26 қабылданды.

А.А. Қайсарова[1], А.У. Шингисов[1], А.К. Садибаев[2], М.Б. Кенжеханова[1]

[1]Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
[2]Таразский университет им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ РЕЦЕПТУРЫ МЯСНЫХ ЧИПСОВ С ПОНИЖЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ПОВАРЕННОЙ СОЛИ МЕТОДОМ BOX–BEHNKEN

Аннотация. В исследовании рассмотрен вопрос оптимизации рецептуры мясных чипсов путём частичной замены поваренной соли с использованием натурального порошка, полученного из растения *Salicornia*. Учитывая вред чрезмерного потребления соли для здоровья, в качестве натурального солезаменителя был использован порошок из высушенной надземной части растения *Salicornia*, произрастающего в селе Кызылколь Созакского района. На основе трехфакторного метода Box–Behnken были разработаны две рецептуры, для которых с помощью математического моделирования определено взаимовлияние факторов на органолептические свойства продукта. Адекватность моделей проверялась с применением программного обеспечения Design-Expert. Результаты показали, что чипсы с добавлением порошка *Salicornia* получили высокие оценки потребителей: для рецептуры №1 оптимальный показатель составил Y ≈ 8,9, для рецептуры №2 – Y ≈ 9,0. Доказано, что использование добавки Salicornia позволяет заменить до 50% поваренной соли, при этом сохраняя вкусовые и технологические свойства продукта.

Ключевые слова: Salicornia, мясные чипсы, частичная замена, снижение соли, Box–Behnken, Design-Expert, оптимизация, органолептика.

A.A. Kaysarova[1], A.U. Shyngysov[1], A.K. Sadibayev[2], M.B. Kenzhekhanova[1]

[1]M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan
[2]M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan

MODELING THE OPTIMAL FORMULATION OF LOW-SALT MEAT CHIPS USING THE BOX–BEHNKEN METHOD

Abstract. This study addresses the optimization of a meat chips formulation by partially replacing table salt with a natural powder derived from the *Salicornia* plant. Considering the health risks associated with excessive salt consumption, a powder made from the dried aerial parts of *Salicornia*, grown in the village of Kyzylkol, Sozak district, was used as a natural salt substitute. Based on the three-factor Box–Behnken method, two formulations were developed, and the interdependence of factors affecting their organoleptic properties was determined through mathematical modeling. The adequacy of the models was verified using the Design-Expert software. The results showed that chips with added *Salicornia* powder were highly rated by consumers: the optimal rating for formulation No.1 was approximately Y ≈ 8.9, and for formulation No.2 – Y ≈ 9.0. It was proven that the use of Salicornia powder allows for up to 50% replacement of table salt while preserving the taste and technological qualities of the product.

Keywords: Salicornia, meat chips, partial replacement, salt reduction, Box–Behnken, Design-Expert, optimization, organoleptic properties.

ҒТАМР 65.59.03

А. Зулпыхарулы[1] – *негізгі автор*,
Л. Ануаркызы[2]

ORCID

[1]*Ауыл шаруашылығы ғылым. д-ры, профессор,* [2]*Аға ғылыми қызметкер*

[1,2]*«Мал шаруашылығы академиясы», «Мал шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты», (新疆畜牧科学院畜牧研究所)*
Үрімші, Шыңжаң Ұйғыр автономиялық ауданы, Қытай Халық Республикасы

[1]azat005@sohu.com

https://doi.org/10.55956/RSRC8339

ШЫҢЖАН ӨЛКЕСІНДЕГІ АЛТАЙДЫҢ ҚЫЗҒЫЛТ ТҮСТІ ҚОЙ ТҰҚЫМЫНЫҢ ЕТ ӨНІМДІЛІК ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Аңдатпа. Адам денсаулығына қажетті маңызды аминқышқылдары мен микроэлементтердің көзі әрі дәмдік сапасы жоғары тағам ретінде тұтынушылар арасында қой еті жоғары сұранысқа ие. Калориясы төмен және холестерин мөлшері аз болғандықтан, басқа ет түрлерімен салыстырғанда қой етінен дайындалған тағамдар құнарлы әрі дәмді болып келеді. Сондықтан, тұтынушылар арасында қой етінің тағамдық ерекшеліктері жоғары бағаланады. Сол себепті, жоғары өнімді қой тұқымдары мен олардан өндірілетін сапалы ет өнімін арттыру өзекті мәселелер қатарына жатады. Мақалада Алтайдың қызғылт түсті қой тұқымының ет өнімділік ерекшеліктері зерттеліп, азықтандырумен байланыты еттің қоректік құрамы талданады. Зерттеу барысында, Алтайдың қызыл қойының етінде су мөлшері орта есеппен 21,15-23,18%, ақуыз – 2,10-2,0% май – 74,61-76,56% және 0,19-0,21% күлден құралғаны анықталды.

Тірек сөздер: қой еті, өнімділік ерекшелігі, ет сапасы, еттің қоректік құндылығы, Алтайдың қызыл қойы, тірілей салмағы, сойыс шығымы, ұша шығымы, май шығымы.

Зулпыхарулы, А. Шыңжан өлкесіндегі Алтайдың қызғылт түсті қой тұқымының ет өнімділік ерекшеліктері [Мәтін] / А. Зулпыхарулы, Л. Ануаркызы // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №2(92). – Б.63-72. https://doi.org/10.55956/RSRC8339

Кіріспе. Етті-майлы қой шаруашылығын дамыту – олардан алынатын негізгі өнім – құнарлығы жоғары қой етінің көлемін арттыруда ерекше маңызға ие, себебі құнды қой еті, әсіресе қозы еті, сондай-ақ ірі талшықты жүн мен жоғары сапалы тері өнімдері – жеңіл өнеркәсіп үшін негізгі шикізат көзі болып табылады.

Шөл және шөлейтті, тау етегі аймақтарының табиғи-климаттық жағдайларына жақсы бейімделген етті-майлы қой тұқымдары – өсіру аймақтарының жайылымдарында жақсы семіреді және жоғары қарқында өсіп- жетіледі.

Алтайдың қызыл қойы тұқымы тірілей салмағы жоғары, дене бітімі мықты, ерекше төзімді, жыл бойы жайылымда бағуға бейімді, жайылымда тез семіруге бейім және ерте жетілуге қабілетті. Тез жетілу қабілетінің

арқасында төлдерді туған жылы-ақ жоғары саламаққа ие болып, 4-4,5 айлық мерзімдерінде етке өткізуге мүмкіндік туылады. Етті-майлы қой тұқымдарынан Фухай уезінде қазіргі кезде алтай қойларының жалпы саны 459100 басты құраса және жылдық өсімі 200000 басқа жеткен. Алдыңғы қатарлы шаруашылықтардың саны 2024 жылы 11-ден 94-ке дейін өсті, онда барлығы 21000-нан астам алтай қойы жоғары класты сұрыптарынан құралған.

Алтай қойы – қос бағытта (етті-майлы) өсірілетін қой тұқымы. Оның дене тұрқын сипаттайтын болсақ – басының көлемі орташа, тар маңдайлы, негізінен салбыраған үлкен құлақтыболып келеді. Қошқарлары үлкен спираль тәрізді мүйізді болса, саулық қойларында үшкір келген, кішілеу мүйіздері болады. Сирақтары ұзын, бұлшық еттері жақсы дамыған күшті аяқтары бар, дене тұрқы тік, тұяқтары берік, жамбасы сәл салбыраңқы. Жүн қабаты қызыл-қоңыр және ашық қоңыр болып келеді, және қара және ала түстер де ішінара кездеседі. Еті жоғары сапалы, жұмсақ, иісі жоқ, әрі құнарлы.

Жуңго Халық Республикасының Алтай аймағының ауа-райы континенталды, жайылымдық жерлері тау беткейлері мен аңғарларында орналасқандықтан, азықтық өсімдіктері сол аймақтарда өседі. Мал жайылымы тау аралық ойпаңдардан, 1100 метрден төменгі тау етегіндегі шабындықтардан, 1100-ден 2300 метрге дейінгі ормандардан және 2300 метрден жоғары альпілік шалғындардан құралады және жазғы жайылым ретінде өз ретімен пайдаланылады. Алтайдың биік таулы жайлауларда қой бакқан қойшылар қауымы ежелден келе жатқан көшпелі өмір тіршілігіне сүйенеді. Шөбі шүйгін, шұрайлы жайылымдарды кезекпен пайдалану мақсатындаету шопандар жыл мезгілдерінің ыңғайын ойластыра отырып, далалы жайылымдары, тау беткейлері, таулы аңғарларындағы альпі шабындықтары арасында көшіп-қонып, маусымдық жайылымдарды тиімді пайдалануды ұйымдастырады. Жыл сайын көктем шыға жазда жайлауға, онан кейін қыстауға көшкенге дейін олар оңтүстіктен солтүстікке қарай және қайтадан кері бағытта қоныс аударып, мыңдаған шақырымға дейінгі қашықтықта көшіп-қонады. Мұндай мал жаю әдісі жайылым ресурстарын тиімді пайдалануға мүмкіндік береді. «Мал жаюдың мұндай бірегей әдісі жергілікті биік таулы шабындықтардың экожүйесіне бейімделген» дейді Оңтүстік-Орталық ұлттар университетінің этнология және әлеуметтану мектебінің профессоры Чен Сянцзюнь.

Жалпы алғанда, халық санының өсуі мен тұрмыс деңгейінің артуына байланысты, тұтынушылардың ас мәзірінде қой және ешкі етінен дайындалатын тағамдар маңызды орын ала бастады. Сиыр және шошқа етімен салыстырғанда, қой еті ақуызға, рибофлавиндерге (B_{12} және B_2 дәрумендері), көптеген қанықпаған май қышқылдарына, магний, калий және кальций сияқты магро-микро элементтерге өте бай келеді. Сонымен қатар, адам ағзасына қозы етінің сіңімділігі н 90% шамасында, ал холестерин мен жалпы май мөлшері аз болып келеді.

Аквакультураның дамуы мен экономикалық деңгейдің жоғарылауына байланысты, Жуңго Халық Республикасында импорт көлемі азайғып, қой және сиыр етін ел аймағында өндіру деңгейінің өсуі байқалуда. Статистикалық мәліметтер бойынша, 2022 жылы Жуңго Халық Республикасы шамамен 357 884 тонна қой етін импортталған болса, ол оның алдындағы жылдың көрсеткішіне қарағанда шамамен 60 000 тоннаға аз сыртқы елдерден әкелінген. Қой еті өндірісі 2020 жылының көрсеткіші бойынша 4,92 млн тоннаны құрап алдыңғы жылмен салыстырғанда 1,0%-ға өсіп, соңғы 10 жылдық нәтижесі бойынша 25,2%-ға артқан. Жалпы ет

өндірісіндегі қой етінің үлесі 2010 жылғы 5,0%-дан 2020 жылы 6,4%-ға дейін өскен [1].

Әлем елдері бойынша ет бағытында өсірілетін қой тұқымдары арасында тексель (Нидерланд), гемпшир (Ұлыбритания), дорпер (Оңтүстік Африка), суффолк (Ұлыбритания) және меринос (Испания) кең таралса, Жуңго Халық Республикасының жоғары сапалы ет беретін қой тұқымдарына Алтайдың қызыл қойы, дорпер, құйрықты хань, дорсет және шароле өсіріледі.

Елімізден бөлек, қой етін көп тұтынатын елдердің бірі – Австралия болып табылады. 2018 жығы дерек бойынша жан басына шаққандағы тұтыну шамамен 7,3 кг болған. 2020–2021 жылдары қой шаруашылығы саласының айналымы 6,4 млрд АҚШ долларын құрады. Бұл салада 19692 ауыл шаруашылық кәсіпорны жұмыс істейді. 2022 жылы қой еті өндірісі (қозы және қой еті) 709932 тоннаны құрап, алдыңғы жылмен салыстырғанда 7%-ға артқан [2].

Қозы етінің өнімділігі тұқымына, азықтандыру деңгейіне және сою жасына байланысты анықталады. Жоғары өнімді қозылар бұлшық етінің жақсы дамуы, тез өсуі және жем-шөпті тиімді пайдалануымен ерекшеленеді. Ет бағытындағы қой тұқымдары (мысалы, еділбай, гиссар, Алтайдың қызыл қойы) 70-80% дейін ұша шығымын береді. Қарқынды түрде бағып-қағу нәтижесінде салмақтың тез өсуін қамтамасыз етіп 4-8 айлық мерзімдерінде орта есеппен 20-25 кг ет (ұша) алынады.

Қарқынды түрде (қорада) бағып-қағу қойдың тәуліктік салмақ қосуын айтарлықтай жоғарылатады (тәулігіне 150,0-158,6 гр дейін). Азық рационын жақсартып, оған құнарлы малазықтық қоспаларн пайдалану (мысалы, ауыл шаруашылық қалдықтарын 50% дейін рацион құрамына ендіру) өнімділікті 30-35%-ға дейін арттыруға мүмкіндік береді.

Қозылар әдетте 6-8 айлығында сойылады. Бұл кезде ұша салмағы шамамен 13–16 кг немесе одан жоғары болуы мүмкін. Қазақстанда енесінен бөлініп алынған қозылар (4,5 айлық) қозылар да сапалы ет береді. Қозы еті – жоғары сапалы, ақуызға, аминқышқылдарға, сондай-ақ мырыш пен мыс сияқты минералдарға бай тағам. Ересек қойларда іш май көп болса, қозы етінде іш май аздау келеді, әрі еті сапалы және жұмсақ келеді.

Жасы ұлғайған сайын қой етінің бұлшық ет талшықтары жуандап, дәнекер ұлпаларының үлесі артуының нәтижесінде еті қаттырақ келсе, қозы етінің бұлшық ет талшықтары жіңішке, дәнекер ұлпалары аз, су мөлшері жоғары болғандықтан еті жұмсақ болады. Сондай-ақ, қошқар етіне қарағанда, әдетте, саулық қойлардың еті жұмсақ келеді. Піштіргеннен (кастрация) қошқарларда бұлшық ет ұлпаларының дамуы жақсы жүріп, нәтижесінде ет құрамындағы май үлесі артады, ал ол еттің жұмсақтығына әсер етеді [3].

Ет сапасын сырттай бағалауда – еттің түсіне қатты мән беріледі. Ет түсіне әсер ететін негізгі факторларға қатарына – тұқымның генетикалық ерекшелігі, малдың жасы мен жынысы, азықтандыру түрлері, еттің бұлшық еті орналасқан бөлігі, сойылғаннан кейінгі еттің pH көрсеткіші, майдың тотығу дәрежесі [4] сияқты басты көрсеткіштері жатады. Сондықтан, еттің түсі оның функционалдық қасиеттерін, өңделген өнімдердің сапасын және жалпы сыртқы көрінісін бағалаудың негізгі көрсеткіштерінің бірі болып саналады.

Тұтынушылардың ет өнімі сапасына қойылатын талап деңгейінің артуына байланысты, өндірушілер тарапынан ет өнімдерінің хош иісіне, тағамдық құндылығына, дәміне және жалпы қауіпсіздігіне (зараланған, улы

және т.б.) басты мән беріледі. Қой еті ақуыздарға, көмірсуларға, минералдарға, дәрумендер мен аминқышқылдарына бай болғандықтан, ас мәзіріндегі басты энергиялық көздердің бірі болып есептеледі [5,6].

Ақуыз – адам ағзасындағы жасушалардың, ұлпаның, мүшелердің және ферменттердің маңызды құрамдас бөлігі болып табылады және ағзаның қоректенуі мен физиологиялық үдерістерінде басты рөл атқарады. Қозы етінің 100 грамында 18 гр шамасында жоғары сапалы ақуыз болса, олардың негізгі бөлігі миофибриллярлы және дәнекер ұлпасы ақуыздарынан құралады. Бұл ақуыздардың тағамдық құндылығы жоғары, ағзаға жеңіл сіңеді және әртүрлі алмастырылмайтын аминқышқылдарын қамтиды, соның арқасында ағза ұлпаларының қалпына келуіне және өсуіне ықпал етеді [7].

Ақуыз синтезінің негізгі құрылымдық бірліктері – аминқышқылдары болып табылады. Олар ет сапасын реттейтін сигналдық молекулалар ретінде де қызмет атқара алады. Аминқышқылдарының құрамы мен мөлшері – еттің тағамдық құндылығы мен дәмдік қасиеттерін бағалауда басты рөл атқарады [8].

Ғалымдардың мәліметінше [9], қой қой еті құрамында шамамен 17 түрлі аминқышқылдары кездескенімен, олардың құрамы мен көлемі қой тұқымдарына байланысты түрліше болады. Жалпы аминқышқылдарының мөлшері шамамен 9,31-18,73% аралығында болады. Ал алмастырылмайтын аминқышқылдарының жалпы аминқышқылдарға қатынасы (ЕАА/ТАА) 34,42-44,32% құрайды. Яғни, алмастырылмайтын аминқышқылдары жалпы мөлшердің 34,44-44,35%-ын қамтиды [10].

Аминқышқылдары – ақуыздар мен басқа да биологиялық қосылыстардың синтезіне қажетті негізгі шикізат көзі болып табылады. Аминқышқылдары негізінде дайындалған қоректік заттар ота жасалғанға дейінгі және одан кейінгі –реабилитациялық кезеңдерінде, күйіктерді, ағза жарақаттарын, дұрыс азықтанбау және азотты заттардың алмасуы бұзылған жағдайларда кеңінен қолданылады.

Аубакиров Х.А. және басқалардың [11] мәліметінде, 4,0-4,5 айлық еділбай қойының еркек қозыларының ұша салмағы – 21,2 кг, іш майының салмағы – 0,35 кг, ал сойыс шығымы – 54,8% құраған. Қазақтың құйрықты қылшық жүнді тұқымына қарағанда бұл көрсеткіштер тиісінше – 2,0 кг, 0,05 кг және 1,4% жоғары екендігін көрсеткен. Бұл едиілбай тұқымы қойының жоғары генетикалық әлеуетке ие екенін дәлелдейді.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Зерттеу нысаны ретінде Алтай аймағында өсірілетін Алтайдың қызыл қойы тұқымы төлдерінің өсіп-даму және ет өнімділік көрсеткіштері алынды. 2025 жылдың наурыз айында туылған 4-4,5 айлық 50 бас еркек қозылардың тірілей салмағы мен дене көрсеткіштері өлшеніп алынды. Қойлардың ет өнімділігін зерттеу барысында «Бүкілодақтық қой шаруашылығы ғылыми-зерттеу институтының «Қойлардың ет өнімділігін зерттеу» нұсқаулығы мен әдістемесі [11] қолданылды. Сойылған еттің сапалық көрсеткіштері «Ветеринариялық-санитариялық талаптар». «Сойылатын жануарларды ветеринариялық тексеру және ет пен ет өнімдерін ветеринариялық-санитариялық сараптау қағидалары» 27.12.1983 ж. бойынша баға берілді.

Зерттеу барысында алынған дене өлшемдері көрсеткіштрі Н.А. Плохинский [12], Е.К. Меркурьев [13], Х.А. Аубакиров [14] әдістемелері бойынша вариациялық статистикалық талдау арқылы өңделді.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Қазіргі кезеңнің нарықтық талаптарына сай, жоғары сапалы қой етін өндіру көлемін арттыру

қажеттілігі әртүрлі климатқа бейімделген, ет өнімділігі жоғары жаңа типтегі қой тұқымдыры мен тұқымішіндік типтерін шығару бойынша сұрыптау жұмыстарын ғылыми негізде жүргізуді талап етеді. Жоғарыда келтірілген нарық сұранысы мен өндірістік қажеттіліктерге байланысты, қазіргі таңда ғалымдар мен мал шаруашылығы мамандарының басты міндеті – жоғары өнімді ет бағытындағы қойл тұқымдрының өнімділігін сұрыптау жолмен арттыру мәселесі болып табылады.

Алтай өлкесі табиғи-климаттық жағдайы салқын, көктем басқа аймақарға қарағанда кешігіңкіреп келетін таулы аймақ. Сондықан, көптеген шаруашылықтарда көктемгі төлдету маусымын ыңғайлы кезеңге (наурыз-сәуір) межелеу, төл алуда тиімді кезең деп қабылданған. Мұндағы негізгі артықшылықтары қатарына ауа температурасының жоғарылауы нәтижесінде жаңа туған қозылардың суыққа ұрынбауы, көктемгі жайылымның көтерілуіне байланысты қозылардың сүтке жаруы және төлді күтіп-бағуға арнайы жылыжайдың қажет болмауы жатады. Күн сәулесі, жылылық және жайылымда өсу арқасында қозылар тез көтеріледі, олардың тіршілік қабілеті де артады. Осы кезеңде алынған төлдер қыста туылған қозыларға қарағанда уызға жарып тоқ болады, тәулік бойы қарауды қажет етпегендіктен жұмыс күшінде әжептеуір азайтады. Бұл зерттеуде Алтай өлкесінде өсірілетін Алтайдың қызыл қойы тұқымы төлдерінің өсіп-дамуы және ет өнімділік көрсеткіштері зерттелді (1-кесте).

Кесте 1

Қозылардың салмақ қосуын анықтау нәтижелері

Қой тұқымы	Жасы	Жынысы	n	M±m	CV
Алтайдың қызыл қойы	Туылғанда	Еркек	30	5,4 ± 0,08	8,3
		Ұрғашы	30	5,0 ± 0,07	10,5
	4,5-айында	Еркек	30	38,5 ± 0,29	6,1
		Ұрғашы	30	34,3 ± 0,35	13,1

1-кесте мәліметтерінен, Алтайдың қызыл қойы тұқымының еркек қозыларының туған кездегі орташа тірі салмағы 5,4 кг, ал ұрғашылары 5,0 кг болған. Еркек қозылардың туылғандағы салмағы ұрғашы қозыларымен салыстырғанда 0,4 кг-ға жоғары болды. Бұл ерешелік жыныстық диморфизм, яғни бір түрге жататын аталық және аналық дарақтардың жыныс мүшелеріне қатысы жоқ анатомиялық және сыртқы айырмашылықтарына байланысты қалыптасқан деген пікірге келеміз.

Алтайдың қызыл қойы тұқымының 4,5 айлық еркек және ұрғашы қозылардың тірілей салмағы кезегінше 38,5 және 34,3 кг құрады және туылған кезімен салыстырғанда еркек қозыларда – 33,1 кг, ал ұрғашыларында – 29,3 кг салмақ қосқан. Еркек қозыларының туылғаннан бастап енесінің бауырынан ажыратылған мерзім аралығындағы (135 күн) орташа тәуліктік салмақ қосуы – 245 гр құраса, ұғашыларында бұл көрсеткіш – 217,0 гр болды.

Ет шығымы неғұрлым жоғары болған сайын, шаруашылық үшін оларды өсіру тиімдірек келеді. Май түсімінің шығымы қойдың тұқымдық ерекшелігіне байланысты келді және азықтандыру деңгейіне байланысты қалыптасады. Сондықтан, етті-майлы қой тұқымдарында (мысалы, қазақтың қылшық жүнді қой тұқымы, едилбай тұқымы немесе алтайдың қызыл қойы және т.б.) ішкі май мен құйрық майының мөлшері жоғары болады, бұл олардың энегиялы қуатының қоры болып табылады және ортаға бейімделгіштігі мен өнімділік көрсеткішін сипаттайды.

Кесте 2

Тәжірибелік қозылардағы ет пен ішкі май шығымы, %

Көрсеткіштері	Өлшем бірлігі	Алтайдың қызыл қойы	
		Еркек	Ұрғашы
Сояр алдындағы салмағы	кг	39,4	35,3
Ұша салмағы	кг	21,3	18,4
Іш майы	кг	0,34	0,29
Ұша шығымы	%	54,9	52,9

Бақылау сойыс нәтижелері әртүрлі шығу текті еркек қозыларда ұша салмағының өсуі мен сойыс шығымының біркелкі еместігін көрсетеді. Атап айтқанда, Алтайдың қызыл қойы тұқымды қозылардың ұша салмағы 21,3 кг, ішкі майы – 0,34 кг, ал сойыс шығымы – 54,9% болды. Бұл көрсеткіштер осы қой тұқымының ұрғашы қозыларымен салыстырғанда тиісінше 2,9 кг, 0,05 кг және 2,0%-ға жоғары екендігін көрсетті.

Кесте 3

Жасы мен жынысына байланысты құйрық майының химиялық құрамы мен қуаттылығы

Еттің химиялық құрамы, %	Қозының жынысы	
	Ұрғашы	Еркек
Май	76,56	74,61
Ақуыз	2,0	2,10
су	23,18	21,15
күл	0,21	0,19
Қуаттылығы, МДж/кг	29,82	30,59

1-кесте мәліметтерінен, 4,5 айлық мерзімдерінде Алтайдың қызыл қойы қозыларының іш майының химиялық құрамы орта есеппен 74,61-76,56% – майдан, 2,10-2,0% – ақуыздан, 21,15-23,18% – судан және 0,19-0,21% күлді заттардан құралатыны анықталды. Барлық тәжірибе топтарындағы қозылар іш майының химиялық құрамы шамалас деңгейде екендігін көреміз.

Қой майын теңдестірілген диетаның бөлігі мөлшерінде пайдалану, адам ағзасына пайдалы. Құнарлы шөппен азықтанған қозылардан алынған майдың құндылығы да жоғары. Ауыл шаруашылық жануарлары майы құрамындағы қанықпаған май қышқылдары адам ағзасына өте пайдалы. Себебі, май (ет) құрамындағы алмастырылмайтын амин қышқылдары (лизин, триптофан, фенилаланин және т.б) адам ағзасында түзілмейтіндіктен, тек жануарлар еті арқылы алынады.

Физиологиялық нормаларға сәйкес ересек адамның ет тұтынуының жылдық қалыпты нормасы 70 кг шамасында болса, ақуызға тәуліктік қажеттілігі 80-100 г көлемінде және оның жартысы жануар тектес болуы керек. Адам ағзасы тек қана дайын амин қышқылдары түрлерін пайдалану нәтижесінде өзінің өмірлік қажеттілігін өтейді.Сондықтан, адам тіршілігінде ағзаға қажетті, толыққұнды қоректік заттармен тамақтанудың маңызы өте зор.

Алынған мәліметтерді сараптау, Алтайдың қызыл қойы қозыларының жайылым жағдайында өсіп-даму көрсеткіштерін жоғары болғанын, сондықтан олардың генетикалық әлеуеті басым екендігін көрсетті.

Зерттеуде 4,5 айлық Алтайдың қызыл қойы қозылары етінің құрамындағы амин қышқылдарының мөлшері (г%) анықталды (4-кесте).

Кесте 4

4,5 айлық Алтайдың қызыл қойы қозылары етінің құрамындағы амин қышқылдарының мөлшері, г% есебімен

Р/с	Амин қышқылдары	Қозының жынысы	
		Ұрғашы	Еркек
	Алмастырылмайтын		
1	Лизин	0,28	0,28
2	Триптофан	0,58	0,58
3	Метионин	0,29	0,31
4	Арганин	0,34	0,35
5	Лейцин	0,28	0,27
6	Изолейцин	0,26	0,25
7	Фенилаланин	0,40	0,38
8	Гистидин	0,87	0,89
9	Валин	0,35	0,35
10	Треонин	0,81	0,80
	Жиыны	4,46	4,47
	Алмастырылатын		
1	Аланин	0,71	0,70
2	Цистин	0,30	0,30
3	Цистеин	0,24	0,25
4	Аспарагин	0,39	0,41
5	Тирозин	0,26	0,25
6	Оксипролин	0,11	0,12
7	Глутамин	0,66	0,66
8	Пролин	0,27	0,28
9	Серин	0,47	0,46
10	Глицин	0,28	0,29
	Жиыны	3,69	3,72
	Барлығы	3,69	3,72

Алтайдың қызыл қойы қозысының 4,5 айлық мерзімдерінеде саулық қойдың бауырынан ажыратылған кездегі етінің құрамындағы алмастырылмайтын амин қышқылдарының құрамына талдау жасау, олардың жалпы жиынының орташа көрсеткіші 4,47-4,46% құрайтыны анықталды.

Алтайдың қызыл қойы тұқымы Қытайдың Шыңжаң өлкесінде шығарылған таулы жағдайға биік таулы, континентальды климатқа жақсы бейімделген, өнімділігі жоғары етті-майлы қой тұқымы болып табылады. Қытайдың Баян-Өлгей мен Алтай аймағында кең таралған бұл қойлар таза су мен шүйгін шөптерді қорек етеді және өте дәмді етімен бағаланады. Зерттеу нәтижесінде Алтайдың қызыл қойы тұқымды еркек қозылардың ұша салмағы 21,3 кг, ішкі майы – 0,34 кг, ал сойыс шығымы – 54,9% болды.

Қорытынды. Қытай Халық Республикасының Алтай аймағында 2025 жылдың аяғына қой саны 2 миллионан астам басты құрады. Етке өткізілген қой саны 1 миллион 480 мың басқа межеленіп, одан түсетін қаржы 2 миллиард 220 миллион юанға жеткізілді. Алтай өңірінің қой шаруашылығының өндірістік қуаты 2030 жылға қарай тұрақты түрде жақсарып, жан-жақты дамиды деген жоспарлар жасалуда. Ет өнімінің брендтік әсері мен нарықтағы қамтамасыз ету мүмкіндігі айтарлықтай нығайып, малшылардың табысын арттыруға маңызды қолдау көрсетеді. Аймақты Шыңжаңдағы, тіпті елдегі қой шаруашылығын дамытудың жетекші өңіріне айналдыруға бағытталған жұмыстар жүргізілуде. Бұл бағытта жоғары

өнімді Алтайдың қызыл қойы тұқымын өсірудің тиімділігі жоғары нәтиже береді.

Әдебиеттер тізімі

1. Zhao Y. Production situation of sheep industry in China in 2021 and trend prospect in 2022 // Animal Agriculture. – 2022. – P. 28-31.
2. OECD. Meat Consumption [Electronic resource]. – 2023. – Access mode: https://data.oecd.org/agroutput/meat-consumption.htm.
3. Li X., Zhang Y., Li Z., Li M., Liu Y., Zhang D. The effect of temperature in the range of −0.8 to 4 °C on lamb meat color stability // Meat Science. – 2017. – Vol. 134. – P. 28-33.
4. Purslow P.P., Warner R.D., Clarke F.M., Hughes J.M. Variations in meat colour due to factors other than myoglobin chemistry; a synthesis of recent findings (invited review) // Meat Science. – 2020. – Vol. 159. – Art. 107941.
5. Cabrera M.C., Saadoun A. An overview of the nutritional value of beef and lamb meat from South America // Meat Science. – 2014. – Vol. 98. – P. 435-444.
6. Juárez M., Lam S., Bohrer B.M., Dugan M.E.R., Vahmani P., Aalhus J., Segura J. Enhancing the Nutritional Value of Red Meat through Genetic and Feeding Strategies // Foods. – 2021. – Vol. 10. – Art. 872.
7. Della Malva A., Santillo A., Priolo A., Marino R., Ciliberti M.G., Sevi A., Albenzio M. Effect of hazelnut skin by-product supplementation in lambs' diets: Implications on plasma and muscle proteomes and first insights on the underlying mechanisms // Journal of Proteomics. – 2023. – Vol. 271. – Art. 104757.
8. Wu G., Bazer F.W., Dai Z., Li D., Wang J., Wu Z. Amino acid nutrition in animals: Protein synthesis and beyond // Annual Review of Animal Biosciences. – 2014. – Vol. 2. – P. 387-417.
9. Wang J., Lu R., Li Y., Lu J., Liang Q., Zheng Z., Huang H., Deng F., Huang H., Jiang H., et al. Dietary supplementation with jasmine flower residue improves meat quality and flavor of goat // Frontiers in Nutrition. – 2023. – Vol. 10. – Art. 1145841.
10. Sun L., Jiang H. Research on meat quality of Qianhua Mutton Merino sheep and Small-tail Han sheep // Open Life Sciences. – 2022. – Vol. 17. – P. 1315-1323.
11. Аубакиров, Х.А. Рост, развитие и мясная продуктивность молодняка овец мясо-сального направления [Текст] / Х.А. Аубакиров, М. Прманшаев, М.Д. Бутаев, А. Зулпыхарулы, Л. Ануаркызы // «Развитие животноводства в экстремальных условиях пустыни: проблемы интеграции науки и практики каракулеводства и пастбищеведения, их инновационные решения». – Труды Международной научно-практической конференции к 95-летию научно-исследовательского института каракулеводства и экологии пустынь. – Самарканд, 19.09.2025. – С. 138-143.
12. Изучение мясной продуктивности овец [Текст] // Методические рекомендации ВИЖ. – М.: Дубровицы, 1978. – 47 с.
13. Меркурьева, Е.К. Биометрия в селекции и генетике сельскохозяйственных животных [Текст] / Е.К. Меркурьева. – М.: Колос, 1970. – 123 с.
14. Плохинский, Н.А. Руководство по биометрии для зоотехников [Текст] / Н.А. Плохинский. – М.: Колос, 1969. – 256 с.
15. Аубакиров, Х.А. Биометрия [Текст] / Х.А. Аубакиров // Оқулық. – Алматы: ЖШС «Дәуір», 2011. – 467 б.

Материал редакцияға 22.04.26 түсті, 15.06.26 қабылданды.

А. Зулпыхарулы[1], Л. Ануаркызы[1]

[1]Научно-исследовательский институт животноводства Академии животноводческих наук Синьцзяна,
Урумчи, Синьцзян-Уйгурский автономный район, Китайская Народная Республика

МЯСНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ОВЕЦ ПОРОДЫ АЛТАЙСКАЯ КРАСНАЯ В СИНЬЦЗЯНСКОМ РЕГИОНЕ

Аннотация. Баранина пользуется высоким спросом среди потребителей как источник важных для организма человека аминокислот и микроэлементов, а также как продукт с высокими вкусовыми качествами. Благодаря низкой калорийности и пониженному содержанию холестерина блюда из баранины являются более питательными и вкусными по сравнению с другими видами мяса. Поэтому пищевые свойства баранины высоко ценятся потребителями. В связи с этим повышение продуктивности высокопродуктивных пород овец и качества получаемой от них мясной продукции является актуальной задачей. В статье исследованы мясные продуктивные особенности овец породы Алтайская красная, а также проанализирован химический состав мяса в зависимости от кормления. В ходе исследования установлено, что мясо овец породы Алтайская красная содержит в среднем: вода – 21,15-23,18 %, белок – 20,10-22,00 %, жир – 74,61-76,56 %, зола – 0,19-0,21 %.

Ключевые слова: баранина, продуктивные особенности, качество мяса, пищевая ценность мяса, Алтайская красная порода овец, живая масса, убойный выход, выход туши, выход жира.

A. Zulpykharuly[1], L. Anuarkyzy[1]

[1]"Academy of Animal Husbandry", "Research Institute of Animal Husbandry", Urumqi, Xinjiang Uyghur Autonomous Region (XUAR), China

MEAT PRODUCTIVITY CHARACTERISTICS OF THE ALTAI RED SHEEP BREED IN THE XINJIANG REGION

Abstract. Mutton is in high demand among consumers as a source of essential amino acids and trace elements important for human health, as well as a product with high sensory qualities. Due to its low calorie content and reduced cholesterol level, mutton-based dishes are more nutritious and palatable compared to other types of meat. Therefore, the nutritional properties of mutton are highly valued by consumers. In this regard, improving the productivity of high-yield sheep breeds and the quality of meat products obtained from them is an important issue. The article investigates the meat productivity characteristics of the Altai Red sheep breed and analyzes the nutritional composition of meat depending on feeding conditions. The study found that the meat of Altai Red sheep contains on average: moisture – 21.15-23.18%, protein – 20.10-22.00%, fat – 74.61-76.56%, and ash – 0.19-0.21%.

Keywords: mutton, productivity characteristics, meat quality, nutritional value, Altai Red sheep, live weight, slaughter yield, carcass yield, fat yield.

References

1. Zhao Y. Production situation of sheep industry in China in 2021 and trend prospect in 2022 // Animal Agriculture. – 2022. – P. 28-31.
2. OECD. Meat Consumption [Electronic resource]. – 2023. – Access mode: https://data.oecd.org/agroutput/meat-consumption.htm.

3. Li X., Zhang Y., Li Z., Li M., Liu Y., Zhang D. The effect of temperature in the range of −0.8 to 4 °C on lamb meat color stability // Meat Science. – 2017. – Vol. 134. – P. 28-33.
4. Purslow P.P., Warner R.D., Clarke F.M., Hughes J.M. Variations in meat colour due to factors other than myoglobin chemistry; a synthesis of recent findings (invited review) // Meat Science. – 2020. – Vol. 159. – Art. 107941.
5. Cabrera M.C., Saadoun A. An overview of the nutritional value of beef and lamb meat from South America // Meat Science. – 2014. – Vol. 98. – P. 435-444.
6. Juárez M., Lam S., Bohrer B.M., Dugan M.E.R., Vahmani P., Aalhus J., Segura J. Enhancing the Nutritional Value of Red Meat through Genetic and Feeding Strategies // Foods. – 2021. – Vol. 10. – Art. 872.
7. Della Malva A., Santillo A., Priolo A., Marino R., Ciliberti M.G., Sevi A., Albenzio M. Effect of hazelnut skin by-product supplementation in lambs' diets: Implications on plasma and muscle proteomes and first insights on the underlying mechanisms // Journal of Proteomics. – 2023. – Vol. 271. – Art. 104757.
8. Wu G., Bazer F.W., Dai Z., Li D., Wang J., Wu Z. Amino acid nutrition in animals: Protein synthesis and beyond // Annual Review of Animal Biosciences. – 2014. – Vol. 2. – P. 387-417.
9. Wang J., Lu R., Li Y., Lu J., Liang Q., Zheng Z., Huang H., Deng F., Huang H., Jiang H., et al. Dietary supplementation with jasmine flower residue improves meat quality and flavor of goat // Frontiers in Nutrition. – 2023. – Vol. 10. – Art. 1145841.
10. Sun L., Jiang H. Research on meat quality of Qianhua Mutton Merino sheep and Small-tail Han sheep // Open Life Sciences. – 2022. – Vol. 17. – P. 1315-1323.
11. Aubakirov Kh.A., Prmanshaev M., Butaev M.D., Zulpikharuly A., Anuarkyzy L. Rost, razvitie i myasnaya produktivnost molodnyaka ovets myaso-salnogo napravleniya [Growth, development and meat productivity of fat-tailed lambs] // Development of Animal Husbandry in Extreme Desert Conditions: Problems of Integration of Science and Practice of Karakul Sheep Breeding and Pasture Management, Their Innovative Solutions. – Proceedings of International Scientific and Practical Conference dedicated to the 95th anniversary of the Research Institute of Karakul Sheep Breeding and Desert Ecology. – Samarkand, 19.09.2025. – P. 138-143. [in Russian].
12. Study of meat productivity of sheep: methodological recommendations / All-Russian Research Institute of Animal Husbandry (VIZh). – Moscow: Dubrovitsy, 1978. – 47 p. [in Russian].
13. Merkuryeva E.K. Biometriya v selektsii i genetike sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh [Biometrics in breeding and genetics of agricultural animals]. – Moscow: Kolos, 1970. – 123 p. [in Russian].
14. Plokhinskiy N.A. Rukovodstvo po biometrii dlya zootekhnikov [Guide to biometrics for zootechnicians]. – Moscow: Kolos, 1969. – 256 p. [in Russian].
15. Aubakirov Kh.A. Biometriya [Biometrics]. – Almaty: LLP "Dauir", 2011. – 467 p. [in Russian].

МРНТИ 65.59.03

А.М. Таева[1] – *основной автор,*
А.Х. Бейсембаева[2], Н.К. Абильмажинова[3],
А.К. Курманбекова[4], М.А. Абсалимова[5]

©

[1]Д-р техн. наук, профессор, [2,4]Магистр, сеньор-лектор,
[3,5]PhD, ассистент-профессор

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0002-4766-9364 [2]https://orcid.org/0000-0001-9453-0448*
[3]https://orcid.org/0000-0001-7398-2242 [4]https://orcid.org/0000-0003-0520-1947
[5]https://orcid.org/0000-0003-2856-1013

[1,2,3,4,5]Алматинский технологический университет,
Алматы, Казахстан

@ *[1]aigul.taeva@gmail.com*

https://doi.org/10.55956/QCYL6055

ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФОРТИФИЦИРОВАННЫХ КОЛБАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация. В работе представлены результаты исследований по фортификации полукопчёных колбас из мяса конины микроэлементами селеном (Se) и цинком (Zn) с целью повышения их пищевой и функциональной ценности. Определены физико-химические и микробиологические показатели готовых изделий в процессе хранения. Перекисное число (ПЧ) жира на начальном этапе («0 сутки») составляло 3,85 ± 0,05 ммоль O_2/кг в образце с Se и 3,71 ± 0,05 ммоль O_2/кг в образце с Zn. К 30-м суткам хранения значения увеличились до 7,55 ± 0,10 и 8,98 ± 0,12 ммоль O_2/кг соответственно, оставаясь ниже предельного сенсорного порога (10 ммоль O_2/кг). Установлено, что селен проявляет более выраженное антиоксидантное действие, замедляя развитие первичного окисления липидов по сравнению с цинком. Влагоудерживающая способность (ВУС) составила 63,1 ± 0,82% для варианта с Se и 64,2 ± 0,83% для варианта с Zn, что на 1,1-3,4% выше контрольного образца. Это свидетельствует о высокой способности белково-жировой матрицы удерживать влагу без необходимости введения дополнительных гидроколлоидов. Микробиологические показатели соответствовали нормативам: КМАФАнМ – (8,8-9,9) × 10^2 КОЕ/г, БГКП, *Listeria monocytogenes, S. aureus* и сульфитредуцирующие клостридии – не обнаружены. Содержание селена в готовых изделиях составило 0,011-0,014 мг/100 г (11-14 мкг/100 г), цинка – 1,15-1,51 мг/100 г, что соответствует верхнему диапазону значений для аналогичных мясных продуктов. Полученные результаты подтверждают эффективность использования селена и цинка для фортификации полукопчёных колбас, обеспечивая повышение антиоксидантной стабильности, влагосвязывающей способности и микробиологической безопасности без ухудшения сенсорных свойств продукта.

Ключевые слова: фортификация мясных изделий, микробиологические показатели, перекисное число, влагоудерживающая способность.

Таева, А.М. Исследования физико-химических и микробиологических показателей фортифицированных колбасных изделий [Текст] / А.М. Таева, А.Х. Бейсембаева, Н.К. Абильмажинова, А.К. Курманбекова, М.А. Абсалимова //Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №2(92). – С.73-87. https://doi.org/10.55956/QCYL6055

Введение. Современный метод внесения недостающих эссенциальных веществ к продуктам с целью повышения их уровня выше естественного за рубежом называется «фортификация» или «усиление» (fortification).

Фортификацией продуктов питания является метод комплексного обогащения продуктов питания нутриентами: витаминами, минеральными веществами, пищевыми волокнами, полиненасыщенными жирными кислотами, а также биологически активными веществами, добавками к пище природного происхождения, в том числе бифидобактериями, олигосахаридами и др. Данный метод применим в случае дефицита нутриентов в рационе питания человека. В соответствии с принятой классификацией - обогащенные, или фортифицированные, продукты относятся к группе продуктов функционального питания. Фортификации подвергаются продукты массового спроса и регулярного потребления [1].

Рынок колбасных изделий отличается разнообразием – ассортимент продуктов здесь очень широк. Число представленных на рынке марок и разновидностей увеличивается [2].

Согласно статистике Республики Казахстан, совокупное потребление колбасных изделий на одного человека составляет 9-10 кг в год. В том числе варёная колбаса – 2,6-2,7 кг/чел·год, полукопчёная – 4,0 кг/чел·год, сосиски и сардельки – 2,3-2,5 кг/чел·год [3].

Мясо и мясопродукты при всем богатстве химического состава содержат недостаточное количество микронутриентов. В связи с этим учеными доказана актуальность комплексного использования продукции животного и растительного происхождения.

Обогащенные (функциональные) мясные изделия – это относительно новая группа мясопродуктов, разработка и промышленное внедрение данных изделий не связаны с изменением привычек питания, не воспринимаются человеком как прием лекарственных средств, поэтому очень важно информировать население и формировать стабильный потребительский спрос на них [4].

Особый интерес представляет обогащение полукопченных колбас важными микроэлементами, такими как селен и цинк, поскольку они часто отсутствуют в рационе населения.

Цинк (Zn) является одним из важнейших микронутриентов для роста и иммунной системы. Он является необходимым компонентом ферментов и играет важную роль в клеточном росте и дифференцировке тканей. Поскольку в организме человека нет долгосрочной системы хранения Zn, для поддержания этих функций и сохранения обменного пула Zn необходимо постоянное поступление его с пищей [5].

Несмотря на его доступность в природе, его биодоступность в организме человека далека от удовлетворительной. Дефицит цинка серьёзно затронул почти 33% населения, в основном негородское. Согласно ранее опубликованному докладу, дефицит цинка ежегодно становится причиной почти 116 000 смертей во всём мире [6].

Селен (Se) считают элементом-антиокислителем. Функции селена в организме довольно разнообразны. Прежде всего, селен является сильным антиоксидантом, препятствуя развитию опухолевых процессов и старению организма [7].

Микроэлемент селен является необходимым нутриентом для нормального функционирования организма человека, входя в состав практически всех органов и тканей. Согласно современным представлениям

биологическая роль селена в первую очередь определяется его антиоксидантным и иммуномодулирующим действием. Недостаток селена приводит к возникновению ряда болезненных симптомов и серьезных патологий [8].

Добавление органических форм селена, таких как селено-метионин или селенсодержащие дрожжи, показало высокую биодоступность и положительное влияние на окислительную стабильность мясных изделий, снижая риск прогоркания и увеличивая срок хранения продукции [9].

Одновременно исследования российских и зарубежных авторов показали, что оптимальные дозировки селена (около 0,2-0,4 мг/100 г продукта) не оказывают отрицательного влияния на вкус, аромат и цвет готовых изделий [10].

Цинк, в свою очередь, необходим для функционирования более чем 300 ферментов, участвующих в обмене белков, жиров и углеводов, а также в формировании иммунного ответа. Его недостаточность приводит к нарушению роста, снижению устойчивости организма к инфекциям и замедлению регенеративных процессов. Применение минеральных солей цинка, таких как $ZnSO_4$ или хелатные формы, в составе мясных изделий позволило увеличить содержание элемента в готовом продукте без ухудшения сенсорных характеристик и технологических свойств [11]. При этом цинк способствует улучшению влагоудерживающей способности белков и повышает сочность колбасных изделий, что особенно важно для полукопченых колбас, потребляемых в свежем виде.

Обогащение мясных продуктов селеном и цинком рассматривается как перспективное направление, позволяющее достичь синергетического эффекта. Исследования последних лет подтверждают, что использование этих микроэлементов повышает антиоксидантный потенциал продукции, обеспечивает лучшее сохранение органолептических свойств в процессе хранения и одновременно повышает её функциональную ценность [12]. Так, было показано, что потребление 100 г колбасных изделий обогащённых Se и Zn, может покрыть до 30-40% суточной нормы селена и до 25% нормы цинка, что делает такие продукты профилактическими средствами против микроэлементозов.

Кроме того, перспективным считается добавление селена в корм для бройлеров – это практичный способ улучшить вкус и увеличить срок хранения мяса коммерческой курицы, одновременно улучшив ее качественные показатели [13].

Таким образом, результаты многочисленных исследований последних лет подтверждают эффективность фортификации полукопченых колбас селеном и цинком. Применение органических форм микроэлементов является наиболее предпочтительным благодаря их высокой биодоступности и нейтральному влиянию на органолептические характеристики. Научные данные свидетельствуют о том, что такие продукты можно рассматривать как функциональные, способные не только удовлетворять потребности организма в питательных веществах, но и выполнять профилактическую роль, снижая риск развития алиментарно-зависимых заболеваний. Целью данного исследования являлось определить влияние селена и цинка на влагоудерживающую способность и на увеличение срока хранения колбасных изделий.

Условия и методы исследования. Проведение исследования заключалось в определении физико-химических и микробиологических

показателей готовых мясных изделий. Объектами исследования являлись готовые полукопченые колбаски из мяса конины, рецептура и технология получения представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1

Рецептуры контрольного и опытных образцов полукопчёной колбасы с добавлением конины, обогащённой селеном и цинком

Наименование ингредиентов	Контрольный образец (без добавок), %	Опытный образец 1 (с селеном), %	Опытный образец 2 (с цинком), %
Конина (постная часть)	50,0	50,0	50,0
Свинина полужирная	25,0	25,0	25,0
Сало шпик	15,0	15,0	15,0
Вода (или колотый лёд)	7,0	7,0	7,0
Посолочная смесь (нитритная соль 0,6 %)	2,0	2,0	2,0
Сахар	0,2	0,2	0,2
Молотый чёрный перец	0,1	0,1	0,1
Мускатный орех	0,05	0,05	0,05
Аскорбиновая кислота	0,05	0,05	0,05
Соединение селена (селенит натрия, Na_2SeO_3)	-	0,002	-
Соединение цинка (сульфат цинка, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$)	-	-	0,005
Итого	100,0	100,0	100,0

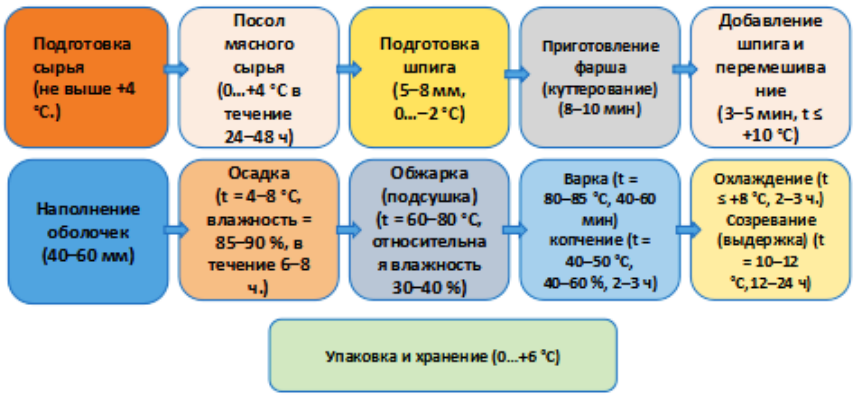


Рис. 1. Технологическая схема производства фортифицированных мясных изделий

Определение перекисного числа проводили по ГОСТ 34118-2017, с исспользованием реакции взаимодействия первичных продуктов окисления жира (перекисей и гидроперекисей) с йодистым калием в кислой среде, последующим титрованием раствором тиосульфата натрия и количественным определением выделившегося йода.

Определение влагоудерживающей способности проводили по методу Вартаняна, при помощи прессования образца мяса с помощью специального прибора (пресса) и последующем измерении массы воды (мясного сока),

выделившейся на фильтровальную бумагу под воздействием прилагаемой нагрузки.

Определение общего селена по ГОСТ 31707-2012, с помощью атомно-абсорбционной спектрометрии с предварительной генерацией гидридов определяемых элементов в растворе пробы, минерализованной кислотой под давлением в соответствии с ГОСТ 31671.

Определение цинка по ГОСТ 30178-96, с помощью атомно-абсорбционной спектрометрии после предварительной минерализации пробы, основанной на измерении поглощения излучения атомами цинка на определённой длине волны.

Определение количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов проводили по ГОСТ 10444.15-94, при помощи разведения навески продукта в питательную среду, инкубировании посевов, подсчете всех выросших видимых колоний.

Определение количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий) проводили по ГОСТ 31747-2012, посредством разведения навески продукта в жидкую селективную среду с лактозой, инкубировании посевов, учете положительных пробирок, пересеве культуральной жидкости в жидкую селективную среду для учета газообразования для подтверждения по биохимическим и культуральным признакам роста принадлежности выделенных колоний к колиформным бактериям.

Определение бактерий *Listeria monocytogenes* определяли по ГОСТ 32031-2012, путём последовательного обогащения исследуемой пробы, выделения на селективные питательные среды и последующего подтверждения видовой принадлежности с использованием биохимических и серологических тестов.

Определение *S. Aureus* проводили по ГОСТ 31746-2012, при помощи высева разведений навески продукта в жидкую селективную среду, инкубировании посевов, пересеве культуральной жидкости на поверхность агаризованной селективно-диагностической среды, подтверждении по биохимическим признакам принадлежности выделенных типичных и атипичных колоний *S. aureus*.

Определение сульфитредуцирующих бактерий рода *Clostridium* проводили по ГОСТ 29185-2014, при помощи высева определенного количества продукта в плотные питательные среды, культивировании посевов в оптимальных для роста условиях и подсчета их количества и определения морфологических и биохимических свойств для подтверждения принадлежности сульфитредуцирующих бактерий к роду *Clostridium*.

Результаты исследований и их обсуждение. На рисунке 2 представлены результаты анализа перикисного числа (ПЧ) мясных изделий.

Из рисунка видно, что в образцах полукопчёной колбасы, обогащённых селеном и цинком, ПЧ жира на «0 сутки» составляло 3,85 ± 0,05 и 3,71 ± 0,05 ммоль O_2/кг соответственно. К 20-м суткам возрастало до 6,88–7,28 ммоль O_2/кг, а к 30-м – до 7,55 ± 0,10 (Se) и 8,98 ± 0,12 (Zn) ммоль O_2/кг. Динамика ПЧ в наших образцах соответствует типичным диапазонам для ферментированных и полукопчёных колбас при холодильном хранении.

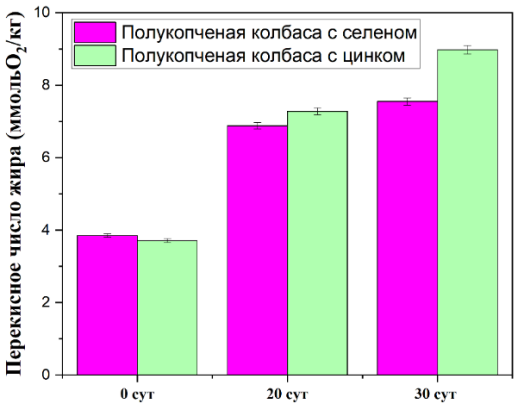


Рис. 2. Перекисное число опытных образцов

Так, в исследовании по ферментированным колбасам ПЧ исходного сырья (~0,8 ммоль O_2/кг) после технологической обработки и хранения возрастало до 2,4–3,7 ммоль O_2/кг, что согласуется с трендом накопления первичных продуктов окисления. Критерием развивающегося прогоркания в жирах/мясных жирах нередко считают порог порядка 10 ммоль O_2/кг жира (некоторые руководства указывают диапазон 10-20 ммоль O_2/кг для выраженных дефектов вкуса), поэтому наши значения к 30-м суткам остаются ниже общеупотребимого порога сенсорной неприемлемости [14].

Так образец с селеном демонстрировал более низкое ПЧ на 30-е сутки (7,55 ммоль O_2/кг) по сравнению с образцом с цинком (8,98 ммоль O_2/кг), что указывает на несколько более выраженное сдерживание первичного окисления липидов в присутствии селена при прочих равных условиях хранения. Этот эффект согласуется с механизмами антиоксидантной защиты: селен в составе селенопротеинов (прежде всего глутатионпероксидазы) катализирует восстановление гидропероксидов липидов, ограничивая их накопление, тогда как цинк опосредованно повышает антиоксидантный статус как кофактор супероксиддисмутазы и через индукцию металлотионеина, но не всегда обеспечивает такое же подавление первичных продуктов окисления в готовых мясных системах [15].

При этом для продуктов животного происхождения показано, что повышение обеспеченности цинком может улучшать общую антиоксидантную ёмкость тканей и снижать показатели перекисного окисления, однако величина эффекта зависит от дозы, формы, рецептуры и технологии (ферментация, активность старт-культур, наличие растительных антиоксидантов, упаковка) [16]. В ряде работ добавление природных антиоксидантов или культур/дрожжей в колбасные фарши снижало наклон кривой роста ПЧ, продлевая срок годности и сенсорную приемлемость. Например, добавление дрожжей в салями заметно уменьшало ПЧ [17].

На рисунке 3 показаны результаты исследования влаго-удерживающей способности (ВУС) контрольного и опытных образцов.

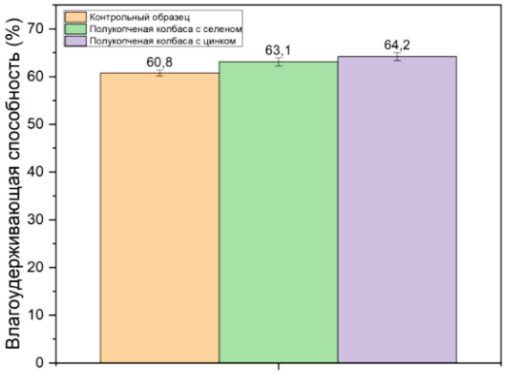


Рис. 3. Влагоудерживающая способность мясных изделий

В опытных образцах полукопчёной колбасы ВУС составила 63,1 ± 0,82% для варианта с селеном и 64,2 ± 0,83% для варианта с цинком, что на 1,1-3,4% выше контрольного образца. Это указывает на сопоставимую способность белково-жировой матрицы удерживать влагу в обоих рецептурах на исходной точке контроля. Мясное сырье изначально было обработано ферментативной закваской *Lactobacillus sakei*, большая вероятность модификации pH, активности воды и структуры геля, что косвенно сказывается на удержании влаги. В исследованиях ученых были выявлены изменения текстурных характеристик и влагосвязывания при инокуляции *L. Sakei* [18]. А также, в ряде работ селеновая биофортификация сырья повышала антиоксидантную ёмкость и могла опосредованно поддерживать ВУС [19]. Улучшению ВУС могли способствовать технологические приемы (выдержка, тумблирование, обработка) которые были применены при подготовке мясного сырья выбракованных коров перед дальнейшей переработкой в колбасы.

Полученные значения ВУС ~63-64% соответствуют ожидаемому диапазону для термически обработанных фаршевых систем без избыточного содержания влагоудерживающих добавок. Близость значений Se- и Zn-вариантов указывает, что при применённой рецептуре и технологии решающую роль в удержании влаги сыграли базовые факторы (солевая и фосфатная ионная сила, степень солюбилизации белков, pH-сдвиг и микроструктура), а не различия по микроэлементам. Это согласуется с механизмами, описанными в международной литературе [20].

В таблице 2-3 представлены результаты микробиологического анализа опытных образцов.

Таблица 2

Микробиологический анализ полукопченой колбасы с селеном

Показатели, ед. изм.	Норма по НД	Фактические результаты		НД
1	2	3		4
Микробиологические показатели:		20 сут	29 сут	
- КМАФАнМ, КОЕ/г	$1x10^3$	$9,3x10^2$	$9,9x10^2$	ГОСТ 10444.15-94
- БГКП, в 1,0 г продукта	Н/д	-	-	ГОСТ 31747-2012
- *L.monocytogen*, в 25 г продукта	Н/д	-	-	ГОСТ 32031-2012

Продолжение таблицы 2

1	2	3		4
- *S.aureus*, в 1,0 г продукта	Н/д	-	-	ГОСТ 31746-2012
- сульфитред. клостридий, в 0,1 г продукта	Н/д	-	-	ГОСТ 29185-2014

Таблица 3

Микробиологический анализ полукопченой колбасы с цинком

Показатели, ед. изм.	Норма по НД	Фактические результаты		НД
1	2	3		4
Микробиологические показатели:		20 сут	29 сут	
- КМАФАнМ, КОЕ/г	$1x10^3$	$8,8x10^2$	$8,9x10^2$	ГОСТ 10444.15-94
- БГКП, в 1,0 г продукта	Н/д	-	-	ГОСТ 31747-2012
- *L.monocytogen*, в 25 г продукта	Н/д	-	-	ГОСТ 32031-2012
- *S.aureus*, в 1,0 г продукта	Н/д	-	-	ГОСТ 31746-2012
- сульфитред. клостридий, в 0,1 г продукта	Н/д	-	-	ГОСТ 29185-2014

В обоих вариантах полукопчёной колбасы (Se- и Zn-фортифицированной) общее количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) при хранении оставалось на низком уровне порядка 10^3 КОЕ/г. Так, для варианта с селеном КМАФАнМ составили $9,3\times10^2$ и $9,9\times10^2$ КОЕ/г на 20-е и 29-е сутки, соответственно. Для варианта с цинком – $8,8\times10^2$ и $8,9\times10^2$ КОЕ/г на 20-е и 29-е сутки. Бактерии группы кишечных палочек (БГКП) в 1 г, Listeria monocytogenes в 25 г, Staphylococcus aureus в 1 г и сульфитредуцирующие клостридии в 0,1 г не обнаружены (во всех точках контроля), что соответствует требованиям методов ГОСТ 10444.15-94, 31747-2012, 32031-2012, 31746-2012, 29185-2014.

Полученные уровни микробной обсеменённости хорошо согласуются с данными зарубежных работ для термически обработанных или копчёных колбас, где после тепловой или коптильной стадии и при охлаждённом хранении типично фиксируют невысокие суммарные мезофильные счёты (10^2-10^4 КОЕ/г) на фоне доминирования молочнокислых бактерий и отсутствия индикаторных и патогенных групп при соблюдении технологии и гигиены производства. Например, в исследованиях динамики микробиоты сосисок и колбас при хранении и применении заквасок отмечено, что молочнокислые бактерии стабилизируют микробное сообщество и сдерживают нежелательные группы, а суммарные мезофильные счёты остаются умеренными в пределах допустимых значений для готовых продуктов при охлаждении [21].

Отсутствие *L. monocytogenes* в 25 г продукта соответствует актуальным критериям безопасности ЕС для готовой пищевой продукции, поддерживающей рост *L. monocytogenes*: «не допускается обнаружение в 25 г» на момент выпуска, а при невозможности валидации – на протяжении

срока годности. Эти требования закреплены Регламентом (ЕС) № 2073/2005 и его обновлениями 2019-2024 гг. На практике достижение критерия обеспечивается суммой таких «барьеров» как: тепловая обработка, снижение aw/pH, нитрит, соль, вакуум/МАП-упаковка, биозащитные культуры [22].

Использование молочнокислой культуры *Lactobacillus sakei*, послужило эффективным биозащитным приёмом против *L. monocytogenes* и ряда психротрофных спойлеров в образцах. Более того показано количественное подавление роста *L. monocytogenes* в широком диапазоне температур хранения копчёных и варёных мясных изделий, особенно при сочетании с другими технологическими приемами [23].

Вместе с тем отдельные работы подчёркивают, что выраженность анти-*Listeria*-эффекта зависит от штамма, матрицы продукта и условий (pH, aw, соль, нитрит, упаковка) [24].

Таким образом низкие и стабильные значения КМАФАнМ (~10^3 КОЕ/г) на 20-29 сутки указывают на эффективный контроль общей обсеменённости и преобладание технологически правильной микробиоты при охлаждённом хранении. Систематическое отсутствие БГКП, *S. aureus,* сульфитредуцирующих клостридий и *L. monocytogenes* подтверждает корректность теплового режима копчения, санитарии и упаковки и соответствует международным ожиданиям для безопасных мясных изделий. Эти выводы согласуются с обзорами и экспериментальными данными по микробной динамике колбас при хранении и роли биозащиты [25].

В таблице 4 представлены результаты исследования минеральных веществ в составе опытных образцов.

Таблица 4.

Минеральный состав опытных образцов

Показатели, ед. изм.	Фактические результаты		НД
1	2	3	4
	П/к с селеном	П/к с цинком	
-селен, мг/100г	0,014±0,0002	0,013±0,0002	ГОСТ 31707-2012
-цинк, мг/100г	1,26±0,02	1,51±0,02	ГОСТ 30178-96

В образцах полукопченых изделий содержание селена составило 0,011-0,014 мг/100 г (11-14 мкг/100 г), цинка – 1,15-1,51 мг/100 г. С разбросом по разным видам мяса содержание селена составляет 90–120 мкг/кг, когда наши значения 11-14 мкг/100 г находятся в верхней части этого диапазона, что типично для мясных продуктов после посола и термообработки [26]. Для колбасных изделий медианные уровни Se по данным состава немецкого рынка составляют ~64-156 мкг/кг (т.е. 6,4-15,6 мкг/100 г), причём верхняя граница практически совпадает с нашими 14 мкг/100 г. Сходные величины для сосисок приводятся и в австралийском тотальном диетологическом исследовании, где нижнесредний уровень оценивался ~92 мкг/кг [27]. Для цинка наши 1,15-1,51 мг/100 г соответствуют опубликованным значениям для термически обработанных копчёных колбас с высокой влажностью (обычно ~0,8-2,5 мг/100 г), но ниже, чем у сухих ферментированных колбас, где из-за эффекта концентрации при сушке средний Zn достигает ≈3,3 мг/100 г (32,7 мг/кг). В ассортиментных сравнениях готовых мясных изделий (итальянская, хот-дог, чористо и др.) типичные уровни Zn колеблются ~2,1-2,4 мг/100 г, то есть также близки к нашим значениям [28].

Заключение. Таким образом, полученные нами уровни перекисного числа свидетельствуют о контролируемом, но поступательном развитии первичного окисления липидов в ходе 30-дневного хранения полукопченых колбас. Более низкие значения в образце с селеном по сравнению с цинком согласуются с ролью селена в ферментативной редукции гидропероксидов. С учётом международных порогов приемлемости по ПЧ (около 10 ммоль O_2/кг жира), оба варианта к 30-м суткам остаются в пределах сенсорно допустимого уровня, но требуют оптимизации барьерных факторов (упаковка, антиоксидантные ингредиенты) для увеличения стабильности без ухудшения вкуса и безопасности. Полученные результаты влагоудерживающей способности подтверждают, что при рациональном сочетании ферментативной обработки, солевых и фосфатных условий возможно обеспечить высокую влагосвязывающую способность продукта без необходимости введения дополнительных гидроколлоидов или функциональных добавок. Это делает предложенные варианты рецептур перспективными для производства обогащённых колбасных изделий с сохранением требуемых технологических и сенсорных характеристик. Микробиологические показатели наших образцов соответствуют требованиям безопасности и гигиены для полукопченых колбас на всём исследованном интервале. Полученные нами уровни Se 11-14 мкг/100 г и Zn 1,15-1,51 мг/100 г хорошо вписываются в опубликованные диапазоны для сопоставимых категорий колбасных изделий: по селену – у верхней границы типичных значений для колбас и выше среднего для сырого мяса и по цинку – в интервале, характерном для копчёных изделий и ниже значений сухих ферментированных колбас, что объясняется различиями по влажности и доле нежирного сырья.

Таким образом, совокупность полученных данных подтверждает эффективность разработанных технологических решений и их потенциал для создания функциональных мясных изделий с улучшенными показателями качества, стабильности и безопасности.

Список литературы

1. Табакаева, О.В. Перспективы фортификации мясных вареных изделий из мяса птицы бурыми водорослями [Текст] / О.В. Табакаева [и др.] // Научные труды Дальрыбвтуза. – 2025. – Т. 71, № 1. – С. 81-92.
2. Наумова, Н.Л. Технологические параметры производства вареных колбас из мяса свинины и говядины, обогащенных селеном и комплексом витаминов [Текст] / Н.Л. Наумова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2013. – Т. 1, № 2. – С. 23-29.
3. Бюро национальной статистики Республики Казахстан [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://stat.gov.kz/ (дата обращения: 01.10.2025).
4. Остаева, Э.А. Разработка вареных колбас специального назначения [Текст] / Э.А. Остаева // Вестник научных трудов молодых учёных, аспирантов, магистрантов и студентов ФГБОУ ВО «Горский государственный аграрный университет». – 2018. – С. 170-172.
5. Gibson R.S., Anderson V.P. A review of interventions based on dietary diversification or modification strategies with the potential to enhance intakes of total and absorbable zinc // Food and Nutrition Bulletin. – 2009. – Vol. 30. – No. 1. – P. S108-S143.
6. Galetti V. Zinc deficiency and stunting // Handbook of Famine, Starvation, and Nutrient Deprivation, 2018. – 1-23 p.

7. Микроэлемент селен и селенодефицит. Пищевые технологии и биопродукты из Забайкальского региона России [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://propionix.ru/mikroelement-selen-i-selenodeficit.
8. Наумова, Н.Л. Технологические аспекты обогащения вареной колбасы из мяса птицы [Текст] / Н.Л. Наумова, В.М. Позняковский // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2013. – № 6. – С. 26-34.
9. de Ciriano M.G.I., Ansorena D., Astiasarán I. Selenium, iodine, ω-3 PUFA and natural antioxidant from Melissa officinalis L.: A combination of components from healthier dry fermented sausages formulation // Meat Science. – 2010. – Vol. 85. – No. 2. – P. 274-279.
10. Галочкина, Н.А. Альтернативные источники селена для коррекции селендефицитных состояний [Текст] / Н.А. Галочкина, И.А. Глотова, М.А. Крекотень // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8-2. – С. 315-316.
11. Jiménez-Colmenero F., Carballo J., Cofrades S. Healthier meat and meat products: their role as functional foods // Meat Science. – 2001. – Vol. 59. – No. 1. – P. 5-13.
12. Borisenko A., et al. Expanding the range of fortified meat products through the targeted combination of raw materials of animal and vegetable origin // Slovak Journal of Food Sciences. – 2024. – Vol. 18.
13. Wei C., et al. Meta-analysis of selenium effects on the meat quality of broilers // Poultry Science. – 2024. – Vol. 103. – No. 4. – Art. 103523.
14. Wang J., et al. Improving the flavor of fermented sausage by increasing its bacterial quality via inoculation with Lactobacillus plantarum MSZ2 and Staphylococcus xylosus YCC3 // Foods. – 2022. – Vol. 11. – No. 5. – Art. 736.
15. D'Amato R., Regni L., Falcinelli B., et al. Current knowledge on selenium biofortification to improve the nutraceutical profile of food: A comprehensive review // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2020. – Vol. 68. – No. 14. – P. 4075-4097.
16. Dukare S., Mir N.A., Mandal A.B., et al. A comparative study on the antioxidant status, meat quality, and mineral deposition in broiler chicken fed dietary nano zinc viz-a-viz inorganic zinc // Journal of Food Science and Technology. – 2021. – Vol. 58. – No. 3. – P. 834-843.
17. Liu Y., et al. Antioxidant effect of yeast on lipid oxidation in salami sausage // Frontiers in Microbiology. – 2022. – Vol. 13. – Art. 1113848.
18. Liu M., et al. Effect of Latilactobacillus sakei and Staphylococcus xylosus on the textural characteristics of dry fermented sausages // Food Bioscience. – 2024. – Vol. 59. – Art. 103972.
19. Huang Y., et al. Selenium biofortification of soybean sprouts: Effects of selenium enrichment on proteins, protein structure, and functional properties // Frontiers in Nutrition. – 2022. – Vol. 9. – Art. 849928.
20. Johnsen S.O., Magnusson M., Arason S., et al. Effects of phosphates and salt in ground raw and cooked farmed cod (Gadus morhua) muscle studied by the water holding capacity (WHC), and supported by 31P-NMR measurements // Journal of Food Science. – 2009. – Vol. 74. – No. 3. – P. C211-C220.
21. Pothakos V., Samapundo S., Devlieghere F. Total mesophilic counts underestimate in many cases the contamination levels of psychrotrophic lactic acid bacteria (LAB) in chilled-stored food products at the end of their shelf-life // Food Microbiology. – 2012. – Vol. 32. – No. 2. – P. 437-443.
22. Verdure C. The (EC) Regulation on Microbiological Criteria: A General Overview // European Food and Feed Law Review. – 2008. – Vol. 3. – No. 3. – P. 172-177.
23. Zhu M., Du M., Cordray J., Ahn D.U. Control of Listeria monocytogenes contamination in ready-to-eat meat products // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2005. – Vol. 4. – No. 2. – P. 34-42.
24. Grigore-Gurgu L., et al. Comprehensive review on the biocontrol of Listeria monocytogenes in food products // Foods. – 2024. – Vol. 13. – No. 5. – Art. 734.

25. Barbieri F., et al. Bio-preservation and bio-active compounds as sustainable strategies to improve quality and safety of fresh and fermented products. – Granada: Universidad de Granada, 2023.
26. Almani S., Memon A.R., Leghari I.H., et al. Selenium contents in different types of raw and processed meat products, consumed among the general population of Pakistan // Biological Trace Element Research. – 2020. – Vol. 193. – No. 2. – P. 357-363.
27. Schöne F., et al. Composition of pork and German meat products with a focus on iron, selenium and iodine // Journal of Food Composition and Analysis. – 2023. – Vol. 119. – Art. 105246.
28. Nguyen Q., Roseland J., Williams J. Nutrient Values for Different Types of Sausage, From USDA Research Studies // Meat and Muscle Biology. – 2019. – Vol. 3. – No. 1.

Исследования выполнены в рамках проекта AP23488862 «Разработка комплекса интенсифицирующих способов глубокой переработки мясомолочного сырья с низкими технологическими показателями и получение на их основе фортифицированных продуктов», профинансированного Комитетом науки МНВО РК.

Материал поступил в редакцию 18.10.25, принят 28.04.26.

А.М. Таева[1], А.Х. Бейсембаева[1], Н.К. Абильмажинова[1], А.К. Курманбекова[1], М.А. Абсалимова[1]

[1]Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан

ФОРТИФИКАЦИЯЛАНҒАН ШҰЖЫҚ ӨНІМДЕРІНІҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ МИКРОБИОЛОГИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Жұмыста жылқы етінен жасалған жартылай ысталған шұжықтардың тағамдық және функционалдық құндылығын арттыру мақсатында микроэлементтермен селен (Se) және мырышпен (Zn) фортификациялау бойынша зерттеу нәтижелері ұсынылған. Сақтау процесінде дайын өнімнің физика-химиялық және микробиологиялық көрсеткіштері анықталды. Бастапқы кезеңде («0 тәулік») майдың пероксидтік саны Se бар үлгіде 3,85 ± 0,05 ммоль O2/кг және Zn бар үлгіде 3,71 ± 0,05 ммоль O_2/кг болды. Сақтаудың 30-шы күніне қарай мәндер тиісінше 7,55 ± 0,10 және 8,98 ± 0,12 ммоль O_2/кг-ға дейін өсті, шекті сенсорлық шекті деңгейден (10 ммоль O_2/кг) төмен болды. Селен мырышпен салыстырғанда липидтердің бастапқы тотығуының дамуын бәсеңдету арқылы анағұрлым айқын антиоксиданттық әсер ететіні анықталды. Ылғалды сақтау қабілеті Se нұсқасы үшін 63,1 ± 0,82% және Zn нұсқасы үшін 64,2 ± 0,83% құрады, бұл бақылау үлгісінен 1,1-3,4% жоғары. Бұл қосымша гидроколлоидтарды енгізуді қажет етпей, ақуыз-май матрицасының ылғалды сақтау қабілетінің жоғарылығын көрсетеді. Микробиологиялық көрсеткіштер нормативтерге сәйкес келді: КМАФАнМ – (8,8-9,9) × 10^2 КОЕ/г, БГКП, *Listeria monocytogenes, S. aureus* және сульфитредуктивті клостридиялар анықталмады. Дайын өнімдердегі селен мөлшері 0,011-0,014 мг/100 г (11-14 мкг/100 г), мырыш – 1,15-1,51 мг/100 г құрады, бұл ұқсас ет өнімдері үшін мәндердің жоғарғы диапазонына сәйкес келеді. Нәтижелер өнімнің сенсорлық қасиеттерін нашарлатпай антиоксиданттық тұрақтылықты, ылғал байланыстыру қабілетін және микробиологиялық қауіпсіздікті арттыра отырып, жартылай ысталған шұжықтарды фортификациялау үшін селен мен мырышты қолданудың тиімділігін растайды.

Тірек сөздер: ет өнімдерін фортификациялау, микробиологиялық көрсеткіштер, пероксидті сан, ылғал ұстау қабілеті.

A.M. Taeva[1], A.Kh. Beisembaeva[1], N.K. Abilmazhinova[1], A.K. Kurmanbekova[1], M.A. Absalimova[1]

[1]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

RESEARCH ON THE PHYSICAL, CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL INDICATORS OF FORTIFIED SAUSAGE PRODUCTS

Abstract. The paper presents the results of research on the fortification of semi-smoked horse meat sausages with the trace elements selenium (Se) and zinc (Zn) in order to increase their nutritional and functional value. The physicochemical and microbiological parameters of the finished products during storage were determined. The peroxide value (PV) of fat at the initial stage ("0 days") was 3.85 ± 0.05 mmol O_2/kg in the sample with Se and 3.71 ± 0.05 mmol O_2/kg in the sample with Zn. By the 30th day of storage, the values increased to 7.55 ± 0.10 and 8.98 ± 0.12 mmol O_2/kg, respectively, remaining below the sensory threshold (10 mmol O_2/kg). It was found that selenium exhibits a more pronounced antioxidant effect, slowing down the development of primary lipid oxidation compared to zinc. Moisture retention capacity (MRC) was 63.1 ± 0.82% for the Se variant and 64.2 ± 0.83% for the Zn variant, which is 1.1-3.4% higher than the control sample. This indicates a high ability of the protein-fat matrix to retain moisture without the need for additional hydrocolloids. Microbiological indicators complied with the standards: KMAFA-nM – (8.8-9.9) × 10^2 CFU/g, BGKP, Listeria monocytogenes, S. aureus and sulphite-reducing clostridia – not detected. The selenium content in the finished products was 0.011-0.014 mg/100 g (11-14 µg/100 g), zinc – 1.15-1.51 mg/100 g, which corresponds to the upper range of values for similar meat products. The results confirm the effectiveness of using selenium and zinc to fortify semi-smoked sausages, ensuring increased antioxidant stability, moisture-binding capacity, and microbiological safety without compromising the sensory properties of the product.

Keywords: fortification of meat products, microbiological indicators, peroxide value, moisture retention capacity.

References

1. Tabakaeva O.V., et al. Perspektivy fortifikatsii myasnykh varenykh izdelii iz myasa ptitsy burymi vodoroslyami [Prospects for Fortification of Cooked Poultry Meat Products with Brown Algae] // Scientific Proceedings of Dalrybvtuz. – 2025. – Vol. 71. – No. 1. – P. 81-92. [in Russian].
2. Naumova N.L. Tekhnologicheskie parametry proizvodstva varenykh kolbas iz myasa svininy i govyadiny, obogashchennykh selenom i kompleksom vitaminov [Technological Parameters for Production of Cooked Sausages from Pork and Beef Enriched with Selenium and a Vitamin Complex] // Bulletin of South Ural State University. Series: Food and Biotechnology. – 2013. – Vol. 1. – No. 2. – P. 23-29. [in Russian].
3. Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan [Electronic resource]. – Access mode: https://stat.gov.kz/ (Date od access 01.10.2025). [in Russian].
4. Ostaeva E.A. Razrabotka varenykh kolbas spetsial'nogo naznacheniya [Development of Special-Purpose Cooked Sausages] // Bulletin of Scientific Works of Young Scientists, Postgraduates, Master's Students and Students of Gorsky State Agrarian University. – 2018. – P. 170-172. [in Russian].
5. Gibson R.S., Anderson V.P. A review of interventions based on dietary diversification or modification strategies with the potential to enhance intakes of

total and absorbable zinc // Food and Nutrition Bulletin. – 2009. – Vol. 30. – No. 1. – P. S108-S143.

6. Galetti V. Zinc deficiency and stunting // Handbook of Famine, Starvation, and Nutrient Deprivation, 2018. – 1-23 p.
7. Selenium Trace Element and Selenium Deficiency. Food Technologies and Bioproducts from the Transbaikal Region of Russia [Electronic resource]. – Access mode: http://propionix.ru/mikroelement-selen-i-selenodeficit. [in Russian].
8. Naumova N.L., Poznyakovskii V.M. Tekhnologicheskie aspekty obogashcheniya varenoi kolbasy iz myasa ptitsy [Technological Aspects of Enrichment of Cooked Poultry Sausage] // Technology and Commodity Science of Innovative Food Products. – 2013. – No. 6. – P. 26-34. [in Russian].
9. de Ciriano M.G.I., Ansorena D., Astiasarán I. Selenium, iodine, ω-3 PUFA and natural antioxidant from Melissa officinalis L.: A combination of components from healthier dry fermented sausages formulation // Meat Science. – 2010. – Vol. 85. – No. 2. – P. 274-279.
10. Galochkina N.A., Glotova I.A., Krekoten' M.A. Al'ternativnye istochniki selena dlya korrektsii selendefitsitnykh sostoyanii [Alternative Sources of Selenium for Correction of Selenium Deficiency Conditions] // Modern High Technologies. – 2013. – No. 8-2. – P. 315-316. [in Russian].
11. Jiménez-Colmenero F., Carballo J., Cofrades S. Healthier meat and meat products: their role as functional foods // Meat Science. – 2001. – Vol. 59. – No. 1. – P. 5-13.
12. Borisenko A., et al. Expanding the range of fortified meat products through the targeted combination of raw materials of animal and vegetable origin // Slovak Journal of Food Sciences. – 2024. – Vol. 18.
13. Wei C., et al. Meta-analysis of selenium effects on the meat quality of broilers // Poultry Science. – 2024. – Vol. 103. – No. 4. – Art. 103523.
14. Wang J., et al. Improving the flavor of fermented sausage by increasing its bacterial quality via inoculation with Lactobacillus plantarum MSZ2 and Staphylococcus xylosus YCC3 // Foods. – 2022. – Vol. 11. – No. 5. – Art. 736.
15. D'Amato R., Regni L., Falcinelli B., et al. Current knowledge on selenium biofortification to improve the nutraceutical profile of food: A comprehensive review // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2020. – Vol. 68. – No. 14. – P. 4075-4097.
16. Dukare S., Mir N.A., Mandal A.B., et al. A comparative study on the antioxidant status, meat quality, and mineral deposition in broiler chicken fed dietary nano zinc viz-a-viz inorganic zinc // Journal of Food Science and Technology. – 2021. – Vol. 58. – No. 3. – P. 834-843.
17. Liu Y., et al. Antioxidant effect of yeast on lipid oxidation in salami sausage // Frontiers in Microbiology. – 2022. – Vol. 13. – Art. 1113848.
18. Liu M., et al. Effect of Latilactobacillus sakei and Staphylococcus xylosus on the textural characteristics of dry fermented sausages // Food Bioscience. – 2024. – Vol. 59. – Art. 103972.
19. Huang Y., et al. Selenium biofortification of soybean sprouts: Effects of selenium enrichment on proteins, protein structure, and functional properties // Frontiers in Nutrition. – 2022. – Vol. 9. – Art. 849928.
20. Johnsen S.O., Magnusson M., Arason S., et al. Effects of phosphates and salt in ground raw and cooked farmed cod (Gadus morhua) muscle studied by the water holding capacity (WHC), and supported by 31P-NMR measurements // Journal of Food Science. – 2009. – Vol. 74. – No. 3. – P. C211-C220.
21. Pothakos V., Samapundo S., Devlieghere F. Total mesophilic counts underestimate in many cases the contamination levels of psychrotrophic lactic acid bacteria (LAB) in chilled-stored food products at the end of their shelf-life // Food Microbiology. – 2012. – Vol. 32. – No. 2. – P. 437-443.

22. Verdure C. The (EC) Regulation on Microbiological Criteria: A General Overview // European Food and Feed Law Review. – 2008. – Vol. 3. – No. 3. – P. 172-177.
23. Zhu M., Du M., Cordray J., Ahn D.U. Control of Listeria monocytogenes contamination in ready-to-eat meat products // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2005. – Vol. 4. – No. 2. – P. 34-42.
24. Grigore-Gurgu L., et al. Comprehensive review on the biocontrol of Listeria monocytogenes in food products // Foods. – 2024. – Vol. 13. – No. 5. – Art. 734.
25. Barbieri F., et al. Bio-preservation and bio-active compounds as sustainable strategies to improve quality and safety of fresh and fermented products. – Granada: Universidad de Granada, 2023.
26. Almani S., Memon A.R., Leghari I.H., et al. Selenium contents in different types of raw and processed meat products, consumed among the general population of Pakistan // Biological Trace Element Research. – 2020. – Vol. 193. – No. 2. – P. 357-363.
27. Schöne F., et al. Composition of pork and German meat products with a focus on iron, selenium and iodine // Journal of Food Composition and Analysis. – 2023. – Vol. 119. – Art. 105246.
28. Nguyen Q., Roseland J., Williams J. Nutrient Values for Different Types of Sausage, From USDA Research Studies // Meat and Muscle Biology. – 2019. – Vol. 3. – No. 1.

ҒТАМР 65.35.03

М. Байғайыпқызы[1] – *негізгі автор*,
Г.К. Искакова[2], М.П. Байысбаева[3], А.К. Изембаева[4], Н.Б. Батырбаева[5]

[1]PhD доктарант, [2]Техн. ғылым. д-ры, профессор,
[3]Техн. ғылым. канд., профессор м.а., [4,5]PhD, қауымдас. профессор

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0002-1092-1853 [2]https://orcid.org/0000-0002-2077-8755*
[3]https://orcid.org/0000-0002-1172-9281 [4]https://orcid.org/0000-0002-1246-2726
[5]https://orcid.org/0000-0001-8258-5353

[1,2,3,4,5]Алматы Технологиялық университеті,
Алматы, Қазақстан

@ *[1]makpal_atyhanova@mail.ru*

©

https://doi.org/10.55956/FART5086

КӨП ДӘНДІ ҰННАН ДАЙЫНДАЛҒАН КОНДИТЕРЛІК ӨНІМДЕР-МАФФИНДЕРДІҢ САПАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Ұннан жасалған кондитерлік өнімдер біздің нарығымыздағы дәстүрлі өнімдер болып табылады және барлық кондитерлік өнімдер арасында сатылымда жетекші орын алады. Олардың танымалдығы мен қолжетімділігін ескере отырып, ұннан жасалған кондитерлік өнімдер тиімді фортификация бола алады. Фортификациялау олардың мақсатты әсерін анықтайтын функционалды ингредиенттерді қосуға әкелуі мүмкін. Бұл зерттеудің мақсаты жарма негізіндегі маффиндердің сапалық сипаттамаларын зерттеу болды. Бидай, жүгері, қарақұмық және тары ұнының әртүрлі қатынасы бар жеті маффин үлгісі дайындалды. Зерттеу әдіснамасына тамақ өнеркәсібінде қолданылатын жалпы қабылданған маффин сынақ әдістері енгізілді. Органолептикалық және физика-химиялық зерттеулердің нәтижелері №2 және №3 үлгілердің оңтайлы физика-химиялық сипаттамаларына (жоғары меншікті көлемі және орташа ылғалдылығы) сәйкес келетін ең теңгерімді органолептикалық қасиеттерге ие екенін көрсетті.

Тірек сөздер: дәнді-дақылдар ұны, ұннан жасалған кондитерлік өнімдер, маффиндердің органолептикалық және физика-химиялық қасиеттері.

Байғайыпқызы, М. Көп дәнді ұннан дайындалған кондитерлік өнімдер-маффиндердің сапалық сипаттамаларын зерттеу [Мәтін] / М. Байғайыпқызы, Г.К. Искакова, М.П. Байысбаева, А.К. Изембаева, Н.Б. Батырбаева // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №2(92). – Б.88-97. https://doi.org/10.55956/FART5086

Кіріспе. Ұннан жасалған кондитерлік өнімдер адам ағзасы үшін маңызды қоректік заттардың дәстүрлі көзі болып табылады және олар біздің халқымыз арасында өте танымал. Ұннан жасалған кондитерлік өнімдердің түрлері жаңа рецептуралар мен технологиялардың енгізілуіне байланысты үнемі кеңейіп келеді [1,2]. Дегенмен, кондитерлік өнімдердің айтарлықтай кемшілігі бар. Ұннан жасалған кондитерлік өнімдерді шамадан тыс тұтыну рациондағы қоректік заттар мен энергия құндылығының тепе-теңдігін

бұзады. Бұл олардың май мен көмірсулардың көп мөлшеріне және тағамдық талшықтардың, минералдардың және дәрумендердің салыстырмалы түрде төмен, ал кейбір жағдайларда мүлдем болмауына байланысты [3,4].

Халық үшін салауатты тамақтану жүйесін дамытуға байланысты, өнімнің органолептикалық қасиеттерін өзгертпейтін, бірақ тағамдық өнімнің калориялылығын төмендетуге және оның тағамдық және биологиялық құндылығын арттыруға ықпал ететін функционалды ингредиенттерді енгізе отырып, ұннан жасалған кондитерлік өнімдерді өндіру технологиясын әзірлеу қажет [5-7]. Халық арасында кондитерлік өнімдердің танымалдығы мен қолжетімділігін ескере отырып, маффиндерді қоса алғанда, ұннан жасалған кондитерлік өнімдер тиімді фортификациялау объектілері бола алады. Фортификациялау нәтижесінде мұндай өнімдерде олардың мақсатты әсерін анықтайтын функционалды ингредиенттер болуы мүмкін [8-9].

Жақында жүргізілген зерттеулер табиғи тағамдарда кездесетін заттарды пайдалану тиімдірек екенін көрсетті: олар жанама әсерлер тудырмайды және қорғаныс әсерін береді. Бұл заттарға адам ағзасына қажетті барлық ақуыз, талшық, дәрумендер және минералдар бар жармалар жатады.

Дәстүрлі емес шикізаттың кең ауқымының ішінде қарақұмық ерекше қызығушылық тудырады. Қарақұмық жармасы – көпбұрышты тұқымдастардың құнды дәнді дақылы, одан қарақұмық жармасы мен ұны өндіріледі. Қарақұмық жармасының құрамында 20%-ға дейін ақуыз (лизин және триптофан сияқты аминқышқылдарымен), 80%-ға дейін крахмал, 0,3-0,5%-ға дейін қант, органикалық қышқылдар (алма, лимон, қымыздық және малеин), В1 (тиамин), В2 (рибофлавин), Р (рутин), РР (никотин қышқылы) дәрумендері, антоцианиндер, темір, кальций және фосфор тұздары, сондай-ақ мыс, мырыш, бор, йод, никель және кобальт сияқты микроэлементтер бар. Қарақұмықтың химиялық құрамы оның толық ақуыздарымен сипатталады, олар жалпы азоттың глобулиндерімен – 33%, альбуминдермен – 26%, глутелиндермен – 20,2% және проламиндермен – 20% құрайды [10-13].

Басқа дәнді дақылдармен салыстырғанда жүгеріде ақуыз аз (7-8%), бірақ май көп (4-5%), көмірсулардың мөлшері бидай, сұлы және басқа дақылдардағыдай (70-75%). Жүгері дәндерінде 60%-ға дейін крахмал, майлы май, пентозандар, алкалоидтар, В1, В6, РР дәрумендері және биотин бар. Ең құнды аминқышқылдары, триптофан және лизин, эндоспермде түзіледі. Танниндерден галл және эллаг қышқылдары, галлокатехин, эпикатехин, катехин, эпигаллокатехин, катехин галлаты және эпикатехин галлаты анықталды [14-17].

Тарының әртүрлі түрлерінің тағамдық және биологиялық құндылығы бойынша жүргізілген заманауи зерттеулер тары ақуыздың, тағамдық талшықтардың, дәрумендердің, минералдардың, фенолдық қосылыстардың, флавоноидтардың және антиоксиданттардың бай көзі екенін көрсетті [18-20]. Тарының құрамындағы биоактивті қосылыстар жүрек-қан тамырлары аурулары, қант диабеті, жоғары қан қысымы және қатерлі ісік сияқты бірқатар ауруларды азайтуға мүмкіндік береді [21,22].

Осылайша, ұннан жасалған кондитерлік өнімдерді - дәнді дақылдардан (жүгері, қарақұмық, сұлы жармасы, тары) алынған ұнды пайдаланатын маффиндерді өндіру технологиясын әзірлеу қажеттілігі айқын, бұл функционалды және экологиялық таза өнімдерді жасауға ықпал етеді.

Жоғарыда айтылғандарға байланысты, жұмыстың мақсаты дәнді-дақыл ұндарына негізделген маффиндердің сапалық сипаттамаларын зерттеу болып табылады.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Зерттеу нысандары 1-кестеде көрсетілген дәнді дақылдардың ұнынан жасалған маффиндер болып табылады.

Кесте 1

Дәнді дақылдар ұнынан жасалған маффиндердің үлгілері

№	Үлгілер	Бидай ұны		Қарақұмық ұны	Жүгері ұны	Тары ұны
1	Бақылау үлгісі	100%	-	-	-	-
2	№1	-	70%	10%	10%	10%
3	№2	-	50%	15%	15%	20%
4	№3	-	40%	15%	15%	30%
5	№4	-	30%	15%	15%	40%
6	№5	-	20%	15%	15%	50%
7	№6	-	10%	15%	15%	60%
8	№7	-	10%	10%	10%	70%

Маффиндердің органолептикалық қасиеттері (өнімнің сыртқы түрі: беті, пішіні, түсі; жұмсақ ортасы: пісірілуі, илеу, түсі, дәмі және иісі) МЕМСТ 5897-90 бойынша анықталды.

Физика-химиялық көрсеткіштер ылғалдылықты, су сіңірімділігі, меншікті көлемді және тығыздықты анықтады.

Ылғалдылық МЕМСТ 5900-2014 бойынша анықталды. Әдістің мәні талданатын өнім үлгісін белгілі бір температурада кептіруден және кептіру алдында талданатын үлгінің массасына қатысты массалық жоғалтуды есептеуден тұрады.

Су сіңірімділігі қасиеттері МЕМСТ 10114-80 бойынша анықталды. Әдіс ұннан жасалған кондитерлік өнімдерді белгілі бір уақыт ішінде 20°С температурада суға батырған кезде салмағының артуын анықтауға негізделген. Су сіңірімділігі өнімнің ылғалданғаннан кейінгі салмағының өнімнің құрғақ салмағына қатынасымен сипатталады және пайызбен көрсетіледі.

Тұқымдарды ығыстыру әдісі (рапс, тары) арқылы меншікті көлемі анықталды. Маффиндер белгілі көлемдегі ыдысқа салынып, ұсақ тұқымдармен жабылып, тегістеледі, содан кейін тұқымдар төгіліп, олардың көлемі өлшеуіш цилиндрмен өлшенеді. Айырмашылығы - маффиндердің көлемі.

Тығыздық МЕМСТ 15810-2014 бойынша анықталды. Әдіс дайын ұннан жасалған кондитерлік өнімге батырылған индикаторлардың көлемін өлшеуге негізделген. Индикатор ретінде шамамен 1,5 мм бөлшектерінің өлшемі бар жылтыратылған тары қолданылады.

Зерттеу нәтижелері. Зерттеу жүргізу үшін дәстүрлі ванильді маффин рецептурасына негізделген классикалық маффин рецептурасы алынды.

Дәнді дақыл ұндарынан дайындалған маффиндердің органолептикалық қасиеттері талданды және нәтижелері 2-кестеде келтірілген. 2-кестеде барлық үлгілердің негізгі органолептикалық критерийлерге қойылатын талаптарға сай екендігі көрсетілген: беті үлкен жарықтарсыз немесе жыртылмаған; пішіні тегіс, үстіңгі беті дөңес немесе сәл тегіс; қабығының түсі – алтын сары; ұнтақ пісірілген, біркелкі кеуекті; араластырудың болмауы; дәмі мен иісі – осы өнім түріне тән, бөгде дәмдер мен иістерсіз. Дегенмен, тары мен қарақұмық ұнының үлесінің артуымен келесілер байқалды: ұнтақ түсінің

аздап өзгеруі (қаныққан сары түс); тары ұнының көп мөлшері бар үлгілерде құрылымның аздап тығыздалуы; бетінің дөңестігі онша байқалмады.

Кесте 2

Маффиндердің органолептикалық сапа көрсеткіштері

Сапа көрсеткіштері	Бақылау	№1 үлгі	№2 үлгі	№3 үлгі	№4 үлгі	№5 үлгі	№6 үлгі	№7 үлгі
Өнімнің сыртқы түрі: Беткі қабаты	Тегіс, біркелкі, жыртылу немесе кесілулер жоқ							
Қыртысының пішіні	Тегіс, дөңес үстіңгі беті бар						Тегіс, сәл дөңес емес	
Қыртысының түсі	Алтын сары							
Қиынды жағдайы: Пісіуі	Толық піскен, біркелкі кеуектілігі бар							
Иленуі	Кесектері және араласпаған қамырдың іздері жоқ							
Түсі	Сарғыш	Сары						
Дәмі	өнім түріне тән дәмі бар, бөгде дәмсіз							
Иісі	Өзіне тән иісі бар, бөгде иіссіз							

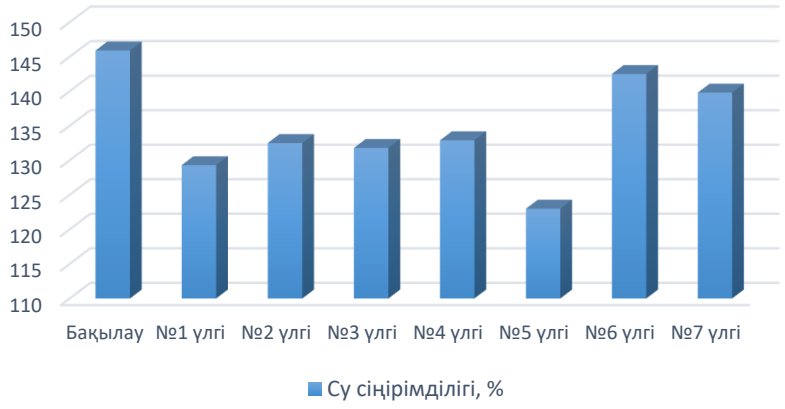
№2 және №3 үлгілер олардың оңтайлы физика-химиялық сипаттамаларына (меншікті көлемі және орташа ылғалдылық) сәйкес келетін ең теңгерімді органолептикалық қасиеттерді көрсетті.

Физикалық-химиялық талдау нәтижелері 3-кестеде және 1 және 2-суреттерде келтірілген.

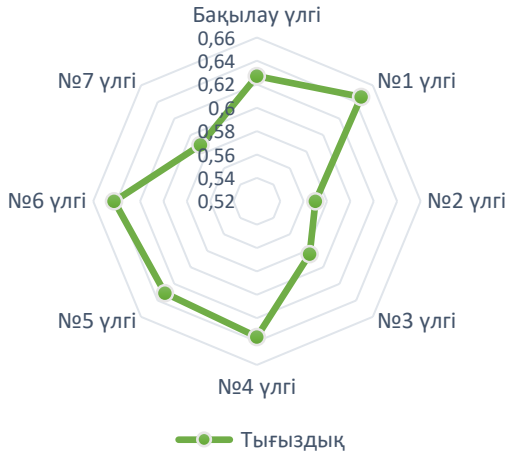
Кесте 3

Маффиндердің физика-химиялық сапа көрсеткіштері

Сапа көрсеткіштері	Бақылау үлгі	№1 үлгі	№2 үлгі	№3 үлгі	№4 үлгі	№5 үлгі	№6 үлгі	№7 үлгі
Ылғалдылық, %	17,2	19,6	18,8	19,7	19,2	18,5	19,2	22,8
Ылғалдану, %	145,9	129,3	132,5	131,8	132,9	123,0	142,5	139,8
Меншікті көлем, $см^3/г$	1,5	1,5	1,7	1,7	1,5	1,5	1,5	1,6
Тығыздық $г/см^3$	0,627	0,646	0,570	0,584	0,636	0,631	0,642	0,588



Сурет 1. Дайын өнімдердің су сіңірімділігі, %



Сурет 2. Маффиндердің тығыздығы, г/см^3

Дайын өнімдердің физика-химиялық қасиеттерін бақылау үлгісімен салыстырмалы талдау келесіні көрсетті: №1 үлгідегі су сіңірімділігі 11,3%-ға, №2 үлгіде – 9,19%-ға, №3 үлгіде – 9,6%-ға, №4 үлгіде – 8,9%-ға, №5 үлгіде – 15,6%-ға, №6 үлгіде – 2,3%-ға және №7 үлгіде – 4,1%-ға төмендеді. Тығыздық индексінің №1, №4, №5 және №6 үлгілерде бақылау үлгісімен салыстырғанда сәйкесінше 3,0; 1,4; 0,63 және 2,3%-ға артуы, ал №2, №3 және №7 үлгілерде бұл көрсеткіштің 9,0; 6,8 және 6,2%-ға және т.б. төмендеуі байқалды.

Зерттеу нәтижелерін талқылау. Әдебиеттерді талдау бүгінгі тұтынушылардың пайдалы және қоректік заттарға бай тағамдарды жеуге тырысатынын көрсетеді. Олар сондай-ақ тез энергия беретін, күш беретін, тойымды және жеуге оңай өнімдерді іздейді. Маффиндер осы талаптарға сай келеді [23]. Азық-түлікті байыту – бұл тағамдардың тағамдық құндылығын арттыру және микроэлементтердің жетіспеушілігін болдырмау үшін оларға маңызды дәрумендерді, минералдарды, ақуыздарды немесе аминқышқылдарын қосу процесі. Дәнді дақылдар, әсіресе ұннан жасалған кондитерлік өнімдер, функционалдық қасиеттерінің қалыптасуымен модификациялауға үміткер болып табылады. Бұл өнімдер үнемі тұтынылады және олардың түрлері соңғы кезде тез кеңейіп келеді [24-27].

Дәнді дақылдар ұнынан жасалған маффиндер органолептикалық талдауы барлық үлгілердің негізгі органолептикалық критерийлерге қойылатын талаптарға сай келетінін көрсетті: беті үлкен жарықтар мен жыртықтарсыз; тегіс пішінді, үстіңгі беті дөңес немесе сәл тегіс; қабық түсі - алтын сары; ұнтақ пісірілген, біркелкі кеуекті; араластырудың болмауы; дәмі мен иісі - осы өнім түріне тән, бөгде дәмдер мен иістерсіз. Дегенмен, тары мен қарақұмық ұнының үлесінің артуымен келесілер байқалды: ұнтақ түсінің аздап өзгеруі (сары түстің қарқындылығы); тары ұнының мөлшері жоғары үлгілерде құрылымның біршама тығыздалуы; бетінің дөңестігінің аз байқалуы. Дайын өнімдердің физика-химиялық қасиеттерін бақылау үлгісімен салыстыра отырып талдау келесіні көрсетті: №1 үлгідегі су сіңірімділік деңгейі бақылау үлгісімен салыстырғанда 11,3%-ға, №2 үлгіде 9,19%-ға, №3 үлгіде 9,6%-ға, №4 үлгіде 8,9%-ға, №5 үлгіде 15,6%-ға, №6 үлгіде 2,3%-ға және №7 үлгіде 4,1%-ға төмендеді және т.б. Ең теңгерімді органолептикалық қасиеттер №2 және №3 үлгілерде байқалды, бұл олардың

оңтайлы физика-химиялық сипаттамаларына (меншікті көлемі және орташа ылғалдылық) сәйкес келеді.

Осылайша, дәнді дақылдарды қайта өңдеу өнімдерінің құрамына енгізу өнімдердің ассортиментін кеңейтіп қана қоймай, пайдалы қасиеттері бар өнімді жасауға мүмкіндік береді.

Қорытынды. Зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, негізгі органолептикалық критерийлер тұрғысынан барлық маффин үлгілері бақылау үлгісімен салыстырмалы екені анықталды. Дегенмен, тары мен қарақұмық ұнының үлесінің артуымен келесілер байқалды: үгінді түсінің аздап өзгеруі (сары түстің қарқындылығы); тары ұнының мөлшері жоғары үлгілерде құрылымның біршама қаттылығы; және бетінің дөңестігінің аз байқалуы. Ең теңгерімді органолептикалық көрсеткіштер №2 және №3 үлгілерде байқалды, бұл олардың оңтайлы физика-химиялық сипаттамаларына сәйкес келеді (меншікті көлемі және орташа ылғалдылығы). Осы ингредиенттерге негізделген маффиндерді әзірлеу Қазақстанның дәнді дақылдарының алуан түрін пайдаланудың жаңа мүмкіндіктерін ашып, өнім түрлерін кеңейтеді және азық-түлік қауіпсіздігін жақсартады.

Әдебиеттер тізімі

1. Юрк Н.А. Современное состояние мучной кондитерской отрасли [Текст] / Н.А. Юрк, К.М. Чаунин // Наука и образование. – 2025. – № 3.
2. Загирова М.С. Анализ потребности и качества мучных кондитерских изделий и методы их совершенствования [Текст] / М.С. Загирова // Теория и практика современной науки. – 2021. – № 5(71). – С. 76-79.
3. Резниченко И.Ю. Формирование ассортимента мучных кондитерских изделий функциональной направленности [Текст] / И.Ю. Резниченко, Т.В. Рензяева, А.Н. Табаторович, И.В. Сурков, А.М. Чистяков // Техника и технология пищевых производств. – 2017. – № 2. – С. 149-162.
4. Иванова Е.А. Современные подходы к снижению энергетической ценности мучных кондитерских изделий с использованием натуральных заменителей сахара [Текст] / Е.А. Иванова, Т.В. Смирнова, Н.П. Кузнецова // Журнал пищевой промышленности. – 2021. – Т. 15, № 4. – С. 45-52.
5. Kane A., Bèye N., Sow A., Diakhaté P., Ndiaye N., Cissé M. Profile of the Functional Categories of Food Additives in Industrial Foods Marketed in Senegal // Food and Nutrition Sciences. – 2023. – Vol. 14. – P. 1244-1258. DOI: 10.4236/fns.2023.1412078.
6. Петрова А.В. Функциональные добавки в кондитерской продукции: современные тенденции и перспективы развития [Текст] / А.В. Петрова, И.М. Лебедева, Е.Ю. Громова // Пищевая промышленность и здоровье. – 2022. – № 8(2). – С. 23-30.
7. Clark M., Macdiarmid J., Jones A.D., Ranganathan J., Herrero M., Fanzo J. The Role of Healthy Diets in Environmentally Sustainable Food Systems // Food and Nutrition Bulletin. – 2020. – Vol. 41, No. 2(Suppl.). – P. 31S-58S. DOI: 10.1177/0379572120953734.
8. Larson N.I., Miller J.M., Watts A.W., Story M.T., Neumark-Sztainer D.R. Adolescent snacking behaviors are associated with dietary intake and weight status // Journal of Nutrition. – 2016. – Vol. 146, No. 7. – P. 1348-1355. DOI: 10.3945/jn.116.230334.
9. Guine R.P.F., Florença S.G., Barroca M.J., Anjos O. The link between the consumer and the innovations in food product development // Foods. – 2020. – Vol. 9, No. 9. DOI: 10.3390/foods9091317.
10. Елисеева Т. Гречиха (лат. Fagopyrum) [Текст] / Т. Елисеева, Н. Ткачева // Журнал здорового питания и диетологии. – 2019. – С. 1-10.
11. Бобков С.В. Получение изолированных белков гречихи для использования в пищевой промышленности [Текст] / С.В. Бобков, В.И. Зотиков, Т.С. Наумкина

[и др.] // Биотехнология: состояние и перспективы развития: материалы международного конгресса. – 2017. – Т. 2. – С. 125-126.
12. Zhang Z.L., Zhou M.L., Tang Y., Li F.L., Tang Y.X., Shao J.R., Xue W.T., Wu Y.M. Bioactive compounds in functional buckwheat food // Food Research International. – 2012. – Vol. 49. – P. 389-395.
13. Singh A., Karjagi C., Kaur S., Jeet G., Bhamare D., Gupta S., Kumar S., Das A., Gupta M., Chaudhary D.P., Bhushan B., Jat B.S., Kumar R., Dagla M.C., Kumar M. Characterization of phi112, a Molecular Marker Tightly Linked to the o2 Gene of Maize, and Its Utilization in Multiplex PCR for Differentiating Normal Maize from QPM // Genes. – 2023. – Vol. 14, No. 2. – Art. 531. DOI: 10.3390/genes14020531.
14. Халилова Р.С. Лечебные свойства кукурузы [Текст] / Р.С. Халилова, И.Д. Кароматов // Биология и интегративная медицина. – 2017. – № 11. – С. 230-235.
15. Li Y., Hu Z., Wang X., Wu M., Zhou H., Zhang Y. Characterization of a polysaccharide with antioxidant and anti-cervical cancer potentials from the corn silk cultivated in Jilin province // International Journal of Biological Macromolecules. – 2020. – Vol. 155. – P. 1105-1113. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.11.077.
16. Sheng L., Chen Q., Di L., Li N. Evaluation of Anti-Diabetic Potential of Corn Silk in High-Fat Diet/Streptozotocin-Induced Type 2 Diabetes Mice Model // Endocrine, Metabolic and Immune Disorders – Drug Targets. – 2021. – Vol. 21. – P. 131-138. DOI: 10.2174/1871530320666200606224708.
17. Wang K., Zhao J. Corn silk (Zea mays L.), a source of natural antioxidants with α-amylase, α-glucosidase, advanced glycation and diabetic nephropathy inhibitory activities // Biomedicine and Pharmacotherapy. – 2019. – Vol. 110. – P. 510-517. DOI: 10.1016/j.biopha.2018.11.126.
18. Yousaf L., Hou D., Liaqat H., Shen Q. Millet: A review of its nutritional and functional changes during processing // Food Research International. – 2021. – Vol. 142. – Art. 110197. DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110197.
19. Zhang F., Fu Y., Liu Z., Shen Q. Comparison of the characteristics of prolamins among foxtail millet varieties with different palatability: Structural, morphological, and physicochemical properties // International Journal of Biological Macromolecules. – 2021. – Vol. 186. – P. 194-205. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2021.07.051.
20. Ahirwar N.K., Singh R. Assessment of nutritional components and nutraceutical benefits of millets: an integrative review // Southeast Asian Journal of Case Report and Review. – 2023. – Vol. 10, No. 3. – P. 50-56.
21. Bhatt D., Fairos M., Mazumdar A. Millets: nutritional composition, production and significance: a review // Journal of Pharmaceutical Innovation. – 2022. – Vol. 11. – P. 1577-1582.
22. Vijaya S., Bartariya G., Rathore S., Latha A.S., Bhagwan N. Nutritional & nutraceutical potential of millets – A mighty cereal // Journal of Advanced Zoology. – 2023. – Vol. 44(S5). – P. 2255-2259.
23. Ibrahim S., Hafize F., Aljaloud S., Stankov S., Ivanov G. Application of Date (Phoenix dactylifera L.) Fruit in the Composition of a Novel Snack Bar // Foods. – 2021. – Vol. 10. – Art. 918. DOI: 10.3390/foods10050918.
24. Жукова В.Ф. Новые направления фортификации продуктов для профилактики дефицита нутриентов в рационе [Текст] / В.Ф. Жукова, Л.В. Сергеева // Российские регионы: взгляд в будущее. – 2023. – № 3-4. – С. 23-33.
25. Жилинская Н.В. Фортификация пищевой продукции — глобальный тренд пищевой промышленности [Текст] / Н.В. Жилинская, П.С. Громовых // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 31-35.
26. Martirosyan D.M., Singh J. A new definition of functional food by FFC: what makes a new definition unique? // Functional Foods in Health and Disease. – 2015. – Vol. 5, No. 6. – P. 209-223. DOI: 10.31989/ffhd.v5i6.183.
27. Маюрникова Л.А. Обогащение пищевых продуктов как фактор профилактики микронутриентной недостаточности [Текст] / Л.А. Маюрникова, А.А.

Кокшаров, Т.В. Крапива [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 1. – С. 124-139. DOI: 10.21603/2074-9414-2020-1-124-139.

Зерттеу жұмыстары ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылған AP26198575 «Төменэтерифицирленген пектин мен көп дәнді функционалды кондитер өнімдерінің (маффиндер, берлинерлер, галеталар, крекерлер) тиімді технологиясын жасау» жоба аясында орындалды.

Материал редакцияға 27.02.26 түсті, 15.05.26 қабылданды.

М. Байғайыпқызы[1], Г.К. Искакова[1], М.П. Байысбаева[1], А.К. Изембаева[1], Н.Б. Батырбаева[1]

[1]Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МУЛЬТИЗЛАКОВЫХ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ – МАФФИНОВ

Аннотация. Мучные кондитерские изделия для нашего рынка являются традиционными продуктами и по продажам занимают одно из ведущих мест среди всех видов кондитерских изделий. Учитывая популярность и доступность мучных кондитерских изделий среди населения они могут быть эффективными объектами обогащения. В результате обогащения такие изделия могут содержать функциональные ингредиенты, определяющие их направленное действие. Целью работы было исследование качественных характеристик маффинов на основе муки из злаковых культур. Объектами исследования стали 7 образцов маффин с различным соотношением пшеничной, кукурузной, гречневой и пшенной муки. Методология исследования включала общепринятые методы исследований маффин, принятые в пищевой промышленности. Полученные результаты исследований органолептических и физико-химических показывают, что наиболее сбалансированные органолептические показатели отмечены у образцов №2 и №3, что согласуется с их оптимальными физико-химическими характеристиками (высокий удельный объём и умеренная влажность).

Ключевые слова: мука из злаковых культур, мучные кондитерские изделия, маффины, органолептические и физико-химические показатели.

M. Baigaiypkyzy[1], G.K. Iskakova[1], M.P. Baiysbayeva[1], A.K. Izembayeva[1], N.B. Batyrbayeva[1]

[1]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

RESEARCH ON THE QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF MULTIGRAIN FLOUR CONFECTIONERY PRODUCTS – MUFFINS

Abstract. Flour confectionery products are traditional products on our market and occupy one of the leading positions among all types of confectionery products in terms of sales. Given the popularity and availability of flour confectionery products among the population, they can be effective targets for fortification. As a result of fortification, such products may contain functional ingredients that determine their targeted action. The aim of the study was to investigate the quality characteristics of muffins based on cereal flour. The objects of the study were 7 samples of muffins with different ratios of wheat, corn, buckwheat, and millet flour. The research methodology included generally accepted methods of muffin research used in the food industry. The results of organoleptic and physicochemical studies show that the most balanced organoleptic indicators were

observed in samples No. 2 and No. 3, which is consistent with their optimal physicochemical characteristics (high specific volume and moderate moisture content).

Keywords: cereal flour, flour confectionery, muffins, organoleptic, physicochemical indicators.

References

1. Yurk N.A., Chaunin K.M. Sovremennoe sostoyanie muchnoy konditerskoy otrasli [Current state of the flour confectionery industry] // Science and Education. – 2025. – No. 3. [in Russian].
2. Zagirova M.S. Analiz potrebnosti i kachestva muchnykh konditerskikh izdeliy i metody ikh sovershenstvovaniya [Analysis of the demand and quality of flour confectionery products and methods for their improvement] // Theory and Practice of Modern Science. – 2021. – No. 5(71). – P. 76-79. [in Russian].
3. Reznichenko I.Yu., Renzyaeva T.V., Tabatorovich A.N., Surkov I.V., Chistyakov A.M. Formirovanie assortimenta muchnykh konditerskikh izdeliy funktsional'noy napravlennosti [Formation of the assortment of functional flour confectionery products] // Food Processing: Techniques and Technology. – 2017. – No. 2. – P. 149-162. [in Russian].
4. Ivanova E.A., Smirnova T.V., Kuznetsova N.P. Sovremennye podkhody k snizheniyu energeticheskoy tsennosti muchnykh konditerskikh izdeliy s ispol'zovaniem natural'nykh zameniteley sakhara [Modern approaches to reducing the energy value of flour confectionery products using natural sugar substitutes] // Journal of Food Industry. – 2021. – Vol. 15. – No. 4. – P. 45-52. [in Russian].
5. Kane A., Bèye N., Sow A., Diakhaté P., Ndiaye N., Cissé M. Profile of the Functional Categories of Food Additives in Industrial Foods Marketed in Senegal // Food and Nutrition Sciences. – 2023. – Vol. 14. – P. 1244-1258. DOI: 10.4236/fns.2023.1412078.
6. Petrova A.V., Lebedeva I.M., Gromova E.Yu. Funktsional'nye dobavki v konditerskoy produktsii: sovremennye tendentsii i perspektivy razvitiya [Functional additives in confectionery products: current trends and development prospects] // Food Industry and Health. – 2022. – No. 8(2). – P. 23-30. [in Russian].
7. Clark M., Macdiarmid J., Jones A.D., Ranganathan J., Herrero M., Fanzo J. The Role of Healthy Diets in Environmentally Sustainable Food Systems // Food and Nutrition Bulletin. – 2020. – Vol. 41, No. 2(Suppl.). – P. 31S-58S. DOI: 10.1177/0379572120953734.
8. Larson N.I., Miller J.M., Watts A.W., Story M.T., Neumark-Sztainer D.R. Adolescent snacking behaviors are associated with dietary intake and weight status // Journal of Nutrition. – 2016. – Vol. 146, No. 7. – P. 1348-1355. DOI: 10.3945/jn.116.230334.
9. Guine R.P.F., Florença S.G., Barroca M.J., Anjos O. The link between the consumer and the innovations in food product development // Foods. – 2020. – Vol. 9, No. 9. DOI: 10.3390/foods9091317.
10. Eliseeva T., Tkacheva N. Grechikha (lat. Fagopyrum) [Buckwheat (lat. Fagopyrum)] // Journal of Healthy Nutrition and Dietetics. – 2019. – P. 1-10. [in Russian].
11. Bobkov S.V., Zotikov V.I., Naumkina T.S., et al. Poluchenie izolirovannykh belkov grechikhi dlya ispol'zovaniya v pishchevoy promyshlennosti [Production of isolated buckwheat proteins for use in the food industry] // Biotechnology: State and Prospects of Development: Proceedings of the International Congress. – 2017. – Vol. 2. – P. 125-126. [in Russian].
12. Zhang Z.L., Zhou M.L., Tang Y., Li F.L., Tang Y.X., Shao J.R., Xue W.T., Wu Y.M. Bioactive compounds in functional buckwheat food // Food Research International. – 2012. – Vol. 49. – P. 389-395.
13. Singh A., Karjagi C., Kaur S., Jeet G., Bhamare D., Gupta S., Kumar S., Das A., Gupta M., Chaudhary D.P., Bhushan B., Jat B.S., Kumar R., Dagla M.C., Kumar M. Characterization of phi112, a Molecular Marker Tightly Linked to the o2 Gene of

Maize, and Its Utilization in Multiplex PCR for Differentiating Normal Maize from QPM // Genes. – 2023. – Vol. 14, No. 2. – Art. 531. DOI: 10.3390/genes14020531.
14. Khalilova R.S., Karomatov I.D. Lechebnye svoystva kukuruzy [Medicinal properties of corn] // Biology and Integrative Medicine. – 2017. – No. 11. – P. 230-235. [in Russian].
15. Li Y., Hu Z., Wang X., Wu M., Zhou H., Zhang Y. Characterization of a polysaccharide with antioxidant and anti-cervical cancer potentials from the corn silk cultivated in Jilin province // International Journal of Biological Macromolecules. – 2020. – Vol. 155. – P. 1105-1113. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.11.077.
16. Sheng L., Chen Q., Di L., Li N. Evaluation of Anti-Diabetic Potential of Corn Silk in High-Fat Diet/Streptozotocin-Induced Type 2 Diabetes Mice Model // Endocrine, Metabolic and Immune Disorders – Drug Targets. – 2021. – Vol. 21. – P. 131-138. DOI: 10.2174/1871530320666200606224708.
17. Wang K., Zhao J. Corn silk (Zea mays L.), a source of natural antioxidants with α-amylase, α-glucosidase, advanced glycation and diabetic nephropathy inhibitory activities // Biomedicine and Pharmacotherapy. – 2019. – Vol. 110. – P. 510-517. DOI: 10.1016/j.biopha.2018.11.126.
18. Yousaf L., Hou D., Liaqat H., Shen Q. Millet: A review of its nutritional and functional changes during processing // Food Research International. – 2021. – Vol. 142. – Art. 110197. DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110197.
19. Zhang F., Fu Y., Liu Z., Shen Q. Comparison of the characteristics of prolamins among foxtail millet varieties with different palatability: Structural, morphological, and physicochemical properties // International Journal of Biological Macromolecules. – 2021. – Vol. 186. – P. 194-205. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2021.07.051.
20. Ahirwar N.K., Singh R. Assessment of nutritional components and nutraceutical benefits of millets: an integrative review // Southeast Asian Journal of Case Report and Review. – 2023. – Vol. 10, No. 3. – P. 50-56.
21. Bhatt D., Fairos M., Mazumdar A. Millets: nutritional composition, production and significance: a review // Journal of Pharmaceutical Innovation. – 2022. – Vol. 11. – P. 1577-1582.
22. Vijaya S., Bartariya G., Rathore S., Latha A.S., Bhagwan N. Nutritional & nutraceutical potential of millets – A mighty cereal // Journal of Advanced Zoology. – 2023. – Vol. 44(S5). – P. 2255-2259.
23. Ibrahim S., Hafize F., Aljaloud S., Stankov S., Ivanov G. Application of Date (Phoenix dactylifera L.) Fruit in the Composition of a Novel Snack Bar // Foods. – 2021. – Vol. 10. – Art. 918. DOI: 10.3390/foods10050918.
24. Zhukova V.F., Sergeeva L.V. Novye napravleniya fortifikatsii produktov dlya profilaktiki defitsita nutrientov v ratsione [New directions of food fortification for the prevention of nutrient deficiencies in the diet] // Russian Regions: Looking into the Future. – 2023. – No. 3–4. – P. 23-33. [in Russian].
25. Zhilinskaya N.V., Gromovykh P.S. Fortifikatsiya pishchevoy produktsii — global'nyy trend pishchevoy promyshlennosti [Food fortification as a global trend in the food industry] // Food Industry: Science and Technologies. – 2019. – Vol. 12. – No. 3. – P. 31-35. [in Russian].
26. Martirosyan D.M., Singh J. A new definition of functional food by FFC: what makes a new definition unique? // Functional Foods in Health and Disease. – 2015. – Vol. 5, No. 6. – P. 209-223. DOI: 10.31989/ffhd.v5i6.183.
27. Mayurnikova L.A., Koksharov A.A., Krapiva T.V., et al. Obogashchenie pishchevykh produktov kak faktor profilaktiki mikronutrientnoy nedostatochnosti [Food fortification as a factor in the prevention of micronutrient deficiency] // Food Processing: Techniques and Technology. – 2020. – Vol. 50. – No. 1. – P. 124-139. DOI: 10.21603/2074-9414-2020-1-124-139. [in Russian].

IRSTI 65.51.29

A.A. Moldakarimov[1] – *main author*,
A.I. Iztayev[2], N.Zh. Muslimov[3],
S.V. Shakhov[4], M.D. Kenzhekhodzhayev[5]

©

[1]PhD Student, [2,4]Doctor of Technical Sciences, Professor,
[3]Associate Professor, President,
[5]Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0001-8309-9285 [2]https://orcid.org/0000-0002-7385-482X*
[3]https://orcid.org/0000-0002-0302-2817 [4]https://orcid.org/0000-0002-5865-2357
[5]https://orcid.org/0000-0001-6924-4589

[1,2]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan
[3]Sh. Murtaza International Taraz University, Taraz, Kazakhstan
[4]Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia
[5]M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan

@ *[1]Mister_almaz89@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/NVHF2887

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF FUNCTIONAL BEVERAGES FROM GERMINATED GRAIN

Abstract. The growth of the world's population has led to an increasing demand for functional food products that enrich the daily diet. Providing the population with environmentally friendly and high-quality products is an important prerequisite for promoting a healthy lifestyle. In this regard, determining the quantity and composition of microorganisms at the initial stage of grain processing is an essential preventive measure. During the study, the microflora of cereal grains, legumes, and oilseed crops was investigated. The research focused on the quality and safety of grain hydration during the development of a technology for producing beverages from germinated grains. It was established that the proliferation of microorganisms in grains and seeds depends on temperature and surface structure: the higher the temperature, the faster microorganisms multiply in moist materials. This relationship was observed only in hydrated materials, since microorganisms do not proliferate rapidly in dry grains and seeds regardless of temperature.

Keywords: cereal crops, legumes, oilseed crops, pathogenic microflora, germination period, nutrient medium, microbial colonies.

Moldakarimov A.A., Iztayev A.I., Muslimov N.Zh., Shakhov S.V., Kenzhekhodzhayev M.D. Development of technology for the production of functional beverages from germinated grain //Mechanics and Technology / Scientific journal. – 2026. – No.2(92). – P.98-105. https://doi.org/10.55956/NVHF2887

Introduction. Grain and grain-based products constitute the foundation of the daily diet of the population, and their quality and safety directly affect the level of food security in the country. In this regard, extensive measures have been undertaken in recent years to promote healthy and balanced nutrition through the development of high-quality and safe grain-based products and the improvement of production technologies.

Finished food products obtained through the targeted modification of the technological, physicochemical, and biochemical properties of grain raw materials must comply with food safety requirements while enriching the daily diet with biologically active compounds [1,2].

At present, a general decline in the nutritional and biological value of manufactured food products is observed, resulting in deficiencies of essential macro- and micronutrients in the human diet [3,4]. Therefore, one of the priority directions of the modern food industry is the development and expansion of functional food products that contribute to maintaining human health and reducing the risk of various diseases. At the same time, there is a growing need to move away from the traditional approach of enriching foods with artificially added nutrients, known as fortification [5,6].

Domestic researchers have developed formulations and technologies for food products enriched with B vitamins, iron, calcium, iodine, and β-carotene. For these purposes, the production of iodine-containing additives and vitamin-mineral premixes with water- and fat-soluble β-carotene preparations has been established. Ready-to-eat breakfast cereals, corn flakes, and instant cereals are enriched with macro- and micronutrients of plant, animal, mineral, and synthetic origin. Rice and other cereal crops are treated with vitamins such as thiamine, riboflavin, and nicotinamide. Functional grain products contribute to reducing the risk of cardiovascular diseases, lowering cholesterol levels, and improving gastrointestinal health. Nevertheless, the raw material potential of grain crops remains underutilized [7,8].

In this context, it should be noted that virtually any cereal, legume, or oilseed crop, including wheat, rye, buckwheat, sunflower, sesame, lentils, soybeans, and others – can be germinated. Each of these crops possesses unique beneficial properties and contains a specific combination of vitamins, minerals, amino acids, and other biologically active compounds [9,10].

However, during the germination of grain raw materials, it is necessary to investigate the dynamics of enzymatic processes occurring within the studied materials, since profound biotechnological transformations take place during germination, actively modifying the chemical composition of plant raw materials.

According to published data, different groups of microorganisms develop in grains under varying conditions of moisture and temperature. For example, certain fungi can proliferate in wheat and maize grains at temperatures of 15-20°C and moisture contents of 14.5-15.0%, whereas bacterial growth in wheat grain begins when moisture reaches a critical level of approximately 17.5-18.0%. Each crop has its own critical moisture content at which microbial growth accelerates sharply. In legume and oilseed seeds, fungi develop at moisture levels of about 16% under the aforementioned temperature conditions, while in sunflower seeds fungal growth may occur at moisture contents as low as 7-9%. This phenomenon is determined by the amount of bound water in the seeds, which depends on their structural characteristics and chemical composition [11,12].

Microorganisms develop in grain only when free water becomes available, that is, when the moisture content exceeds the level of bound water.

Even sufficiently moist grain (18-19% moisture content) can be stored satisfactorily at a temperature of 10°C; however, at 15-20°C it rapidly becomes moldy and susceptible to bacterial spoilage. Therefore, successful grain storage requires a reduction in moisture content as storage temperature increases.

At the same degree of moisture content, the active development of microorganisms in the grain mass occurs at different rates depending on the crop

species. Wheat, rye, barley, peas, beans, and buckwheat are more resistant to microbial growth, whereas millet, maize, and sunflower seeds are characterized by more rapid and intensive microbial development [13].

In this regard, the aim of the study was to investigate the microbiological contamination of grain, legume, and oilseed crop samples.

Materials and methods. Grain, legume, and oilseed crops were used as the objects of the study. The microbiological contamination of the selected samples was investigated in the Laboratory of Microbiology and Biotechnology of the Almaty Branch of LLP "Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry" (KazNIIPPI).

The total number and species composition of bacteria, fungi, and yeasts were determined by counting colonies grown on a dry nutrient agar medium. The composition of the dry nutrient agar (manufactured in India) per 1 L of distilled water was as follows: pancreatic digest of animal tissue – 5 g; sodium chloride – 5 g; beef extract – 1.5 g; yeast extract – 1.5 g; agar-agar – 15 g; pH 7.4 ± 0.2. The medium was sterilized at a pressure of 1 atm for 15 min [14].

The quantitative composition and structure of the microbial community were determined by inoculating diluted suspensions onto a solid nutrient medium. All procedures were carried out under strictly sterile conditions, including disinfection of instruments with alcohol, use of sterile Petri dishes, sterilized distilled water, and autoclaving.

At each stage of morphological development, bacterial isolates were obtained by inoculating the test material onto standard plate agar (SPA, dry nutrient agar). A dilution of $1:10^4$ was used, and the inoculum volume was 0.02 mL. The inoculated suspension was spread onto Petri dishes in duplicate. Sterile medium served as the control. The Petri dishes were incubated at 28-30°C for 5-6 h. After incubation, colony counts were determined taking the dilution factor into account.

The overall level of microbiological contamination was expressed as the number of colony-forming units (CFU) per milliliter. To investigate the morphological and tinctorial properties of the isolated microorganisms, preparations were made from the obtained colonies and stained using the Sinyev, Gram, and Ziehl–Neelsen methods, followed by microscopic examination.

Research results. Experimental studies were conducted to assess the food safety of cereal, legume, and oilseed grains in terms of microbiological contamination by pathogenic microflora. In addition, the cultural and morphological characteristics of the isolated strains were investigated (Table 1).

Table 1

Information on the Study Materials

№	Crop	Variety	Originator/Developer
1	Spring bread wheat	Almaken	LLP "Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing"
2	Triticale	Aziad	LLP "Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing"
3	Spring barley	KazSuffle-1	LLP "Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing"
4	Rice (grain crop)	Ai-Kerim	LLP "Kazakh Research Institute of Rice Growing named after I. Zhakhaev"

Seeds of leguminous crops are characterized by a high content of essential amino acids. Samples of domestically bred soybean, pea, and chickpea varieties were selected as research materials. These varieties have successfully passed variety testing and have been included in the State Register of Breeding Achievements of the Republic of Kazakhstan (Table 2).

Table 2

Information on the Study Materials

№	Crop	Variety	Originator/Developer
1	Soybean	Ivushka	LLP “Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing”, LLP “Agricultural Experimental Station ‘Zarechnoye’”
2	Pea	Aksary	LLP “Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing”
3	Chickpea	Satti	LLP “Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing”

Oilseed crops are a natural source of plant protein and valuable polyunsaturated fatty acids. Seeds of domestically bred oilseed crops, including sunflower, flax, safflower, and rapeseed, were selected as research materials (Table 3).

Table 3

Information on the Study Materials

№	Crop	Variety	Originator/Developer
1	Sunflower	Rauan	LLP “Kostanay Agricultural Research Institute”
2	Oilseed flax	Kostanayskiy	LLP “Agricultural Experimental Station Zarechnoye”
3	Safflower	Nika 80	LLP “Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing”
4	Spring rapeseed	Gulsary	LLP “Kostanay Agricultural Research Institute”, LLP “Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing”

Surface washings were prepared from the research samples and inoculated onto nutrient media. The cultural and morphological characteristics of the isolated strains were studied on a dry nutrient medium (NM). The following characteristics were evaluated: colony size, shape, profile, surface features, optical properties, color, structure, and bacterial consistency. The cultural and morphological characteristics of the bacterial strains are presented in (Table 4).

Table 4

Cultural and Morphological Characteristics of Bacterial Strains

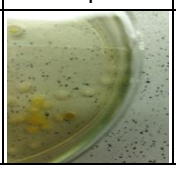
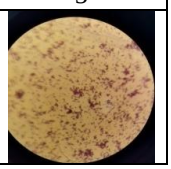
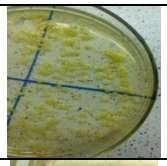
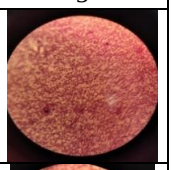
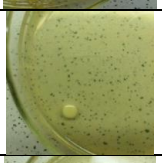
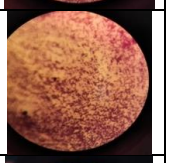
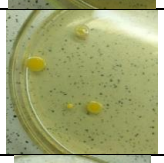
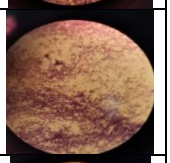
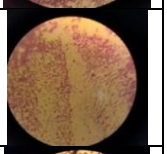
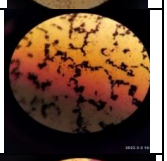
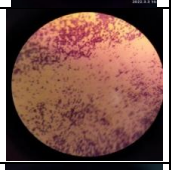
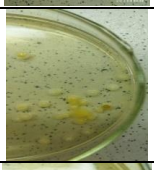
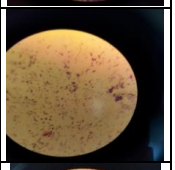
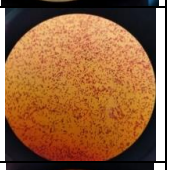
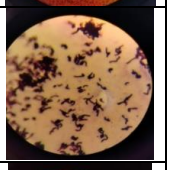
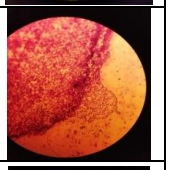
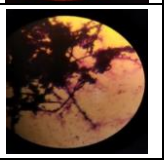
№	Crop (Sample)	Colony Morphological Characteristics	Plate	Microscopic Characteristics
1	2	3	4	5
1	Triticale (Sample No. 2)	Circular yellow colonies, slightly darker in the center, shiny, smooth surface, Ø2 mm Gram-negative short rods with rounded ends, occurring singly and in chains		

Table 4 (continued)

1	2	3	4	5
2	Triticale (Sample No. 2)	Yellow, circular, small, shiny colonies with smooth profile and convex center, Ø1-2 mm Gram-negative short rods with rounded ends, occurring singly and in chains		
3	Triticale (Sample No. 2)	Gray-white, circular, shiny colonies with smooth profile, Ø2-3 mm Gram-negative short rods with rounded ends, occurring singly and in chains		
4	Triticale (Sample No. 2)	Yellow, translucent, mucoid colonies spreading over the medium surface, Ø6 mm Gram-negative short rods with rounded ends, arranged in clusters		
5	Rice (Sample No. 3)	Yellow circular colonies with smooth edges, shiny surface, smooth profile, Ø5-6 mm Gram-negative short rods with rounded ends, arranged in clusters		
6	Rice (Sample No. 3)	Pink punctiform circular colonies, convex, smooth edges, shiny surface, Ø1 mm Gram-positive oval yeast cells, occurring singly or in close proximity		
7	Barley (Sample No. 4)	Circular colonies with smooth edges, convex profile, smooth shiny surface, cream-colored, Ø5 mm Gram-negative short rods with rounded ends, arranged in clusters		
8	Barley (Sample No. 4)	Circular colonies with smooth edges, flat profile, granular surface, cream-colored, Ø4 mm Gram-negative short rods with rounded ends, occurring singly and in chains		
9	Flax (Sample No. 9)	Circular colonies with smooth edges, convex profile, smooth and shiny surface, dirty white color, Ø5 mm Gram-negative short rods with rounded ends, occurring singly and in chains		
10	Safflower (Sample No. 10)	Circular colonies with slightly wavy edges, pale color, smooth, dull surface, paste-like consistency, Ø5 mm Gram-positive large, slightly curved rods, occurring singly, in chains, and clusters		
111	Spring rapeseed (Sample No. 11)	Yellow, translucent, mucoid colonies spreading across the medium surface, Ø15 mm Gram-negative short rods with rounded ends, occurring singly and in clusters		
11	Spring rapeseed (Sample No. 11), *Penicillium*	Circular colony, convex center, velvety texture, white with light green center and white margin Septate, colorless hyphae; numerous round conidia; long, narrow conidiophores observed		

As shown in Table 4, the colonies of bacteria isolated from the studied crop samples were characterized by circular shapes with irregular, wavy, or smooth margins; flat, convex-flat, or convex profiles; homogeneous structures; mucoid or dry consistency; smooth or wrinkled surfaces; and a wide range of colors, including apricot-yellow, brownish-orange, olive-yellow, pale, and light pink. The colony diameter varied from 25.5 ± 0.7 mm to 71.5 ± 2.1 mm. The studied microorganisms included both Gram-positive and Gram-negative bacteria.

The bacterial colonies were predominantly circular, festooned, irregular, or smooth-margined, with flat, slightly convex, or convex profiles. They exhibited homogeneous structures, mucoid or dry consistency, smooth or wrinkled surfaces, and various colors such as pale gray, pale, yellow, and sandy-yellow. The colony size ranged from 4.5 ± 0.7 mm to 31.7 ± 2.1 mm.

Conclusion. Based on the results obtained, it can be confidently stated that high-quality grain possesses a characteristic native microflora, which significantly changes under improper storage and spoilage conditions. Therefore, the species composition of microorganisms may serve as an indicator of the quality of germinated grain.

The dominant microflora of grain consists of bacteria. A major portion of the bacterial population is represented by non-spore-forming rods of the genus Pseudomonas, which actively proliferate on plant surfaces. Most commonly, Ps. herbicola is encountered, forming golden-yellow colonies on solid nutrient media. Microorganisms of the genus Pseudomonas, including Ps. fluorescens, which produces fluorescent colonies, are also frequently detected.

Among other bacterial groups, micrococci and lactic acid bacteria are present. Fatty acid bacteria and bacilli enter grains together with dust and insects and remain in a passive state without active proliferation on plant material. In total, up to 50 bacterial species may be identified on plant surfaces.

References

1. Zharikova G.G. Mikrobiologiya pishchevykh produktov. Sanitariya i gigiena [Microbiology of food products. Sanitation and hygiene]. – 2005. – 300 p. [in Russian].
2. Kerasheva S.I., Kuklina N.V. Sanitarnaya mikrobiologiya [Sanitary microbiology]. – Barnaul: Department of Microbiology, Altai State Medical University, Print Technology, 2002. – 84 p. [in Russian].
3. Vasilenko O.M. Sovremennye tendentsii povysheniya stepeni ispolzovaniya belkov zernovogo syr'ya v pivovarenii, intensifikatsii proizvodstva piva i uluchsheniya ego kachestva i stoykosti [Modern trends in increasing the utilization of grain protein raw materials in brewing, intensifying beer production and improving its quality and stability] // Proceedings of the All-Union Seminar of Brewers of the Russian Federation, 1990. – P. 16. [in Russian].
4. Vanchikova O.B., Petrova N.A., Danina M.M. Tekhnologii pivovareniya na osnove maloglyutenovogo syr'ya [Brewing technologies based on low-gluten raw materials] // Proceedings of the Saint Petersburg State University of Low-Temperature and Food Technologies Conference. – 2008. – Iss. 4. – P. 42-47. [in Russian].
5. Yunikhina V.A., Melnikov E.P. Ovsyanye produkty [Oat products] // Bread Products. – 2006. – No. 3. – P. 30-32. [in Russian].
6. Kazakov E.D., Karpilenko G.P. Biokhimiya zerna i zernoproduktov [Biochemistry of grain and grain products]. – Saint Petersburg: GIORD, 2005. – 512 p. [in Russian].

This research is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR10764970).

Received: 02 June 2026
Accepted: 17 June 2026

А.А. Молдакаримов[1], А.И. Изтаев[1],
Н.Ж. Муслимов[2], С.В. Шахов[3], М.Д. Кенжеходжаев[4]

[1]Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан
[2]Ш. Мұртаза атындағы Халықаралық Тараз университеті, Тараз, Қазақстан
[3]Воронеж мемлекеттік инженерлік технологиялық университеті, Воронеж, Мәскеу
[4]М.Х. Дулати атындағы Тараз Университеті, Тараз, Қазақстан

ӨНГЕН АСТЫҚТАН ФУНКЦИОНАЛЬДЫ БАҒЫТТАҒЫ СУСЫНДАР ӨНДІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ

Аңдатпа. Жер халқының санының өсуі күнделікті рационды байытатын функционалдық өнімдерге сұраныстың артуына әкеледі. Халықты экологиялық таза, сапалы өнімдермен қамтамасыз ету салауатты өмір салтын қалыптастырудың маңызды шарты болып табылады. Бұл тұрғыдан алғанда, астықты өңдеудің бастапқы кезеңінде микроорганизмдер саны мен құрылымын анықтау маңызды алдын алу шарасы болып табылады. Зерттеу барысында астық, бұршақ тұқымдас және майлы дақылдар дәнінің микрофлорасы зерттелді, ал зерттеу нысаны өніп шыққан дәнді сусындарды дайындау технологиясын әзірлеу кезінде дәннің ылғалдану сапасы мен қауіпсіздігі болды. Дән мен тұқымдағы микроорганизмдердің көбеюі температура мен беттің құрылымына байланысты екені анықталды: температура неғұрлым жоғары болса, ылғалды материалда микроорганизмдер соғұрлым тез көбейеді. Бұл тәуелділік тек ылғалданған материалда байқалды, өйткені құрғақ дәнде және тұқымда микроорганизмдер температураға қарамастан тез көбеймейді.

Тірек сөздер: астық дақылдары, бұршақ дақылдары, майлы дақылдар, патогенді микрофлора, өну мерзімі, қоректік орта, микроорганизмдер колониясы.

А.А. Молдакаримов[1], А.И. Изтаев[1],
Н.Ж. Муслимов[2], С.В. Шахов[3], М.Д. Кенжеходжаев[4]

[1]Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан
[2]Международный Таразский университет им. Ш. Муртазы, Тараз, Казахстан
[3]Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия
[4]Таразский университет им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОФЛОРЫ ЗЕРНА ЗЛАКОВЫХ, ЗЕРНОБОБОВЫХ И МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР ПРИ ИХ ПРОРАЩИВАНИИ НА ПИЩЕВЫЕ ЦЕЛИ

Аннотация. Рост численности населения Земли приводит к увеличению спроса на функциональные продукты питания, обогащающие ежедневный рацион. Обеспечение населения экологически чистыми и качественными продуктами является важным условием формирования здорового образа жизни. В этой связи определение количества и структуры микроорганизмов на начальном этапе

переработки зерна представляет собой важную профилактическую меру. В ходе исследования была изучена микрофлора зерна злаковых, зернобобовых и масличных культур. Объектом исследования являлись качество и безопасность увлажнения зерна при разработке технологии производства напитков на основе пророщенного зерна. Установлено, что размножение микроорганизмов на зерне и семенах зависит от температуры и структуры поверхности: чем выше температура, тем быстрее происходит развитие микроорганизмов во влажном материале. Данная зависимость наблюдалась только в увлажненном материале, поскольку в сухом зерне и семенах микроорганизмы не размножаются интенсивно независимо от температуры.

Ключевые слова: зерновые культуры, зернобобовые культуры, масличные культуры, патогенная микрофлора, продолжительность проращивания, питательная среда, колонии микроорганизмов.

ҒТАМР 65.59.29

Я.М. Узаков[1] – *негізгі автор*,
М.Ә-А. Қалдарбекова[2], Н.Л. Вострикова[3], А.Т. Топаева[4], Ч.К. Авылов[5]

©

[1]Академик, Техн. ғылым. д-ры, профессор, [2]PhD, қауымдас. профессор м.а., [3]Техн. ғылым. д-ры, [4]Докторант, [5]Ветеринар. ғылым. д-ры, профессор

ORCID *[1]https://orcid.org/0009-0001-2878-7170 [2]https://orcid.org/0000-0002-0103-307X [3]https://orcid.org/0000-0002-9395-705X [4]https://orcid.org/0009-0003-8450-6497 [5]https://orcid.org/0009-0002-5301-1140*

[1,2,4]Алматы Технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан
[3]В.М. Горбатов атындағы Тағам жүйелері ФҒО, Мәскеу, Ресей Федерациясы
[5]Ресей биотехнологиялық университеті, Мәскеу, Ресей Федерациясы

@ *[1]alina.topaeva@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/RMKX3054

БАЛАЛАРҒА АРНАЛҒАН ЕТ КОНСЕРВІ ӨНІМДЕРІН ӨНДІРУДЕГІ КУТТЕРЛЕУ ПРОЦЕССІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Аңдатпа. Зерттеудің мақсаты – вакуумсыз куттерлеу режимдерінің балалар тағамына арналған ет консервілерінің аэрация деңгейіне және органолептикалық сипаттамаларына әсерін кешенді түрде бағалау, сондай-ақ технологиялық тұрғыдан ең қолайлы режимді анықтау. Осы мақсатқа сәйкес зерттеу барысында куттерлеудің төрт тәжірибелік нұсқасы қарастырылды: 8 мин – 1500 айн/мин, 15 мин – 1500 айн/мин, 8 мин – 3000 айн/мин және 15 мин – 3000 айн/мин. Барлық үлгілер бірдей рецептура жағдайында дайындалып, олардың арасындағы айырмашылық тек куттерлеу ұзақтығы мен кескіш пышақтардың айналу қарқындылығына байланысты қалыптастырылды. Куттерлеуден кейін өнімдегі аэрация деңгейі анықталды, және дайын өнімнің тығыздық көрсеткіші мен органолептикалық көрсеткіштері зерттеулді. Нәтижелер аэрация көрсеткішінің 6,24-тен 8,57%/көлемге дейін артқанын, ал тығыздықтың 0,986-дан 0,962 г/см³-ке дейін төмендегенін көрсетті. Бұл куттерлеу қарқындылығы жоғарылаған сайын өнім құрылымында газ фазасының жиналуы күшейетінін дәлелдейді. Ең жоғары органолептикалық баға 8 мин – 3000 айн/мин режимінде дайындалған үлгіде тіркеліп, 4,89 баллды құрады. Ал ұзақ уақыттық және жоғары қарқынды өңдеу артық аэрацияны күшейтіп, «аса куттерленуге» тән құрылымдық белгілердің пайда болуына алып келді. Зерттеу нәтижелері балалар тағамына арналған ет консервілері үшін 8 минут бойы 3000 айн/мин жылдамдықпен жүргізілген куттерлеу режимін неғұрлым оңтайлы деп ұсынуға мүмкіндік береді.

Тірек сөздер: куттерлеу, аэрация, ет консервілері, балалар тағамы, тығыздық, органолептикалық бағалау.

Узаков, Я.М. Балаларға арналған ет консерві өнімдерін өндірудегі куттерлеу процессін оңтайландыру [Мәтін] / Я.М. Узаков, М.Ә-А. Қалдарбекова, Н.Л. Вострикова, А.Т. Топаева, Ч.К. Авылов // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №2(92). – Б.106-116. https://doi.org/10.55956/RMKX3054

Кіріспе. Балалар тағамына арналған ет консервілерін өндіруде өнімнің микробиологиялық қауіпсіздігімен қатар, құрылымдық біртектілігі, жұмсақ

консистенциясы, тұрақты түсі және жоғары тағамдық құндылығы шешуші мәнге ие. Бұл санаттағы өнімдер, әдетте, қатаң термиялық өңдеуден өтеді. Мұндай өңдеу қауіпсіздікті қамтамасыз етеді, бірақ органолептикалық қасиеттердің әлсіреуіне және кейбір нутриенттердің төмендеуіне әкелуі мүмкін. Сол себепті термоөңдеуге дейінгі технологиялық кезеңдерді, әсіресе механикалық өңдеу режимдерін ғылыми тұрғыдан оңтайландыру өзекті саналады [1-4].

Ұсақталған ет жүйелері көпфазалы ақуыз-су-май матрицасы түрінде қалыптасады. Мұнда тұзда еритін миофибриллярлық ақуыздар су мен май фазаларын тұрақтандырушы негізгі құрылымдық компонент рөлін атқарады. Олар механикалық өңдеу барысында экстракцияланып, кейін қыздыру кезінде су мен майды ұстап тұратын торлы құрылым түзеді. Сондықтан мұндай жүйелердің сапасы шикізат құрамына ғана емес, ақуыздардың диспергирлену дәрежесіне, май бөлшектерінің таралуына және өңдеу кезінде жүйеге қанша ауа енгеніне – аэрация деңгейіне де тәуелді. Миофибриллярлық ақуыздардың эмульсия тұрақтылығындағы жетекші рөлі мен ет эмульсиясының көпкомпонентті табиғаты осы бағыттағы зерттеулердің теориялық негізін құрайды [5-7].

Аэрация дегеніміз – технологиялық өңдеу кезінде ет массасына газ фазасының микро- және макрокөпіршіктер түрінде енуі және құрылым ішінде сақталуы. Бұл құбылыс бірнеше жағымсыз салдар туғызады. Біріншіден, ұсақталған және эмульсияланған ет жүйелері оттегінің әсерінен тотығуға бейім келеді, себебі бұл кезде беткі аудан ұлғаяды және бұлшықет тінінің табиғи қорғаныс жүйелері әлсірейді. Екіншіден, эмульсиялық жүйелерде тотығу тұрақтылығы өндіріс жағдайына, соның ішінде өңдеу тәсіліне тәуелді. Үшіншіден, ауа көпіршіктері ақуыз матрицасының тұтастығын бұзып, бос қуыстардың, кеуектіліктің және құрылымдық біркелкі еместіктің пайда болуына ықпал етеді. Мұндай өзгерістер балалар консервілерінде қабылданбайды, себебі олар өнімнің консистенциясына, түсіне және жалпы тұрақтылығына тікелей әсер етеді [8-10].

Ет консервілерін өндіру барысында аэрация өнімді механикалық өңдеудің бірнеше сатысында байқалады. Деректер бойынша шикізатты алдын ала ұсақтау кезінде өнімдегі ауа мөлшері 2,89%об. деңгейінде тіркелсе, араластыру сатысында ауа үлесі едәуір жоғарылап, 3,71%об. құрайды, бұл массаның қарқынды араласуы кезінде газ фазасының жүйеге белсенді енгізілетінін көрсетеді. Ең жоғары аэрация куттерлеу кезеңінде анықталған, мұнда өнімдегі ауа концентрациясы 6,15%об.-ға жеткен. Бұл куттерлеу процесінің тек құрылым түзуге емес, сонымен қатар фарш жүйесіне ауа енгізуге де ең ықпалды технологиялық операция екенін дәлелдейді [11,12].

Куттерлеу кезінде шикізат өте ұсақ дәрежеге дейін диспергирленеді, май фазасы майда бөлшектерге ыдырайды, миофибриллярлық ақуыздар қарқынды экстракцияланады және біртекті ет эмульсиясы түзіледі. Дәл осы кезеңде өнімнің кейінгі су ұстау қабілеті, эмульсия тұрақтылығы және жылумен өңдегеннен кейінгі құрылымы қалыптасады. Сонымен қатар куттерлеу режимі дұрыс таңдалмаса, май бөлшектерінің жалпы беткі ауданы шектен тыс өседі, ақуыз қабықшасы жеткіліксіз қалыптасады, температура жоғарылайды және эмульсияның бұзылу қаупі артады. Әдебиет деректері бойынша куттерлеу уақытын бақылау аса маңызды, өйткені процесс ұзаққа созылғанда, өнім сапасы төмендеп, «аса куттерленген» өнім шығарылады. Осыған байланысты балалар тағамына арналған ет консервілерін өндіруде

вакуумсыз куттерлеу режимдерінің ғылыми негізделген параметрлерін анықтау маңызды міндет саналады [13,14].

Бұл жұмыстың мақсаты – балаларға арналған ет консері дайындау мақсатында куттерлеудің әртүрлі режимдері кезінде айналу жиілігі мен өңдеу ұзақтығының ет жүйесінің технологиялық қасиеттеріне әсерін бағалау, аэрация деңгейінің өзгеруін салыстыру және сапа көрсеткіштері үшін неғұрлым қолайлы режимді айқындау.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Балаларға арналған ет консерві өнімдері Алматы технологиялық университетінің «Ет өңдеу оқу-ғылыми орталығында» дайындалды. Негізгі шикізат ретінде қолданылған тауық еті жергілікті жеткізушіден сатып алынып, оның сапасы мен қауіпсіздігін растайтын ілеспе құжаттармен қабылданды. Шикізатты қабылдау кезінде ветеринариялық-санитариялық құжаттарының болуы, сыртқы күйі және сақтау шарттарына сәйкестігі ескерілді.

Мұздатылған тауық филесі алдын ала 0-4°С температурада жібітілді, содан кейін дәнекер тіндер мен көзге көрінетін ластанулардан тазартылып, массасы 30-50 г кесектерге бөлінді. Сиырдың шикі майы 95-100°С температурада ерітіліп, кейін сүзгіден өткізіліп, 35-40°С-қа дейін салқындатылды. Пияз қабығынан тазартылып, ұсақталды және 120-130°С температурада ашық алтын түске енгенше пассерленді. Тауық филесі шикізат:су = 1:1,5 қатынасында ыстық сумен құйылып, әлсіз қайнау жағдайында кулинарлық дайындыққа жеткенше 45 мин бойы пісірілді. Дайын шикізат 10–12°С-қа дейін салқындатылды.

Салқындатылған ет шикізаты мен пассерленген пияз диаметрі 4,5 мм тор көздері бар еттартқыш (CE 660F, la Minerva, Италия) арқылы екі рет өткізілді. Ұсақталған шикізат ет араластырғышта (C/E MM 30, la Minerva, Италия) дәмдеуіштер енгізіліп араластырылды (8-10 минут). Алынған масса одан әрі майда ұсақтау және эмульгирлеу үшін куттерге (K30Neo, Talsa, Испания) жіберілді. Куттерлеу сатысында ет сорпасы, ас тұзы, ұсақталған дәмдеуіштер, біріздiлікпен енгізілді. Куттерлеу біртекті пастатәрізді құрылым алынғанға дейін жүргізілді, ал процесс соңындағы температура 15°С-тан аспады.

Зерттеу барысында қолданылған куттерлеудің төрт тәжірибелік режимі 1-кестеде көрсетілген.

Кесте 1

Тәжірибелік үлгілерде қолданылған куттерлеу режимдерінің параметрлері

Үлгі атауы	Куттерлеу ұзақтығы, мин	Кескіш пышақтардың айналу қарқындылығы, айн/мин
Үлгі 1	8	1500
Үлгі 2	15	1500
Үлгі 3	8	3000
Үлгі 4	15	3000

Дайын ет жүйесі банкаларға мұқият тығыздалып, өлшеніп салынды. Қалыпталған өнімдерге жылумен өңдеу автоклавта (DGS-280 A, Keling, Қытай) жүргізілді. Режим 160-170°С температурада 30-40 мин бойы пісіру кезеңін, содан кейін қажетті ішкі температураға жеткенге дейін 80-85°С-та ұстауды қамтыды. Жылумен өңдеуден кейін үлгілер 2 ± 2°С-қа дейін салқындатылып, құрылымын тұрақтандыру үшін осы температурада кемінде 12 сағат ұсталды, одан кейін талдауларға жіберілді.

Дайын өнімдерге зертханалық зерттеулер Алматы технологиялық университетінің «Тамақ қауіпсіздігі» аккредиттелген ғылыми-зерттеу зертханасында (аккредиттеу аттестаты №KZ.T.02.E 1158) жүргізілді.

Аэрация деңгейі куттерлеу процессінен кейін жанама түрде Ultrapyc 3000 газды пикнометрі арқылы анықталды. Әдістің мәні инертті газдың үлгі камерасына еніп, өнімнің нақты көлемін анықтауына негізделеді. Алынған шынайы тығыздық көрсеткіші өнімнің көрінерлік тығыздығымен салыстырылып, фарш жүйесіндегі газ фазасының көлемдік үлесі есептелді. Аэрация шамасы өнім құрылымында ұсталып қалған ауа мөлшерін сипаттайтын жанама көрсеткіш ретінде бағаланды.

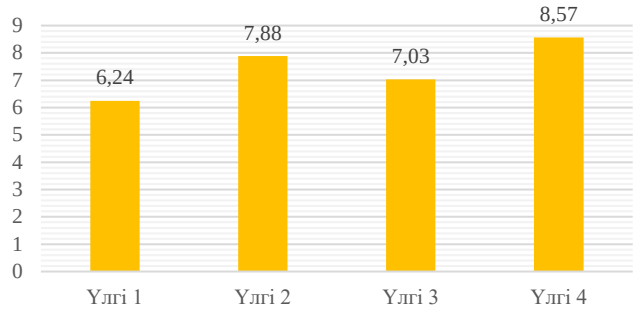
Үлгілер тығыздығын зерттеу өнім дайын болғаннан Structurometer ST-2 текстура талдағышында жүргізілді. Әрбір сынама аспаптың қозғалмайтын төменгі платформасына орналастырылып, қозғалмалы траверсаға бекітілген диаметрі 36 мм цилиндр тәрізді зондпен сығылды. Алдымен зонд үлгіге 0,5 мм/с жылдамдықпен 5 мм тереңдікке дейін енгізілді, содан кейін бастапқы орнына қайтарылды; одан кейін 0,5 мм/с жылдамдықпен 10 мм тереңдікке дейін екінші рет сығу жүргізіліп, соңында бастапқы қалыпқа қайта оралды. Алынған деректер негізінде аспаптық әдістемеге сәйкес үлгілердің тығыздығы есептелді.

Ет өнімінің органолептикалық бағалануы ГОСТ 9959-2015 «Ет және ет өнімдері. Органолептикалық бағалауға қойылатын жалпы талаптар» стандартына сәйкес жүргізілді. Талдауға өнімнің органолептикалық сипаттамаларын бағалау критерийлерімен алдын ала таныс 10 адам қатысты. Бағалауға қатысу ерікті түрде ұйымдастырылып, қатысушылар ауызша келісімін берді. Зерттеу жақсы желдетілетін, жарықтандыруы жеткілікті және сыртқы кедергілер жоқ бөлмеде жүргізілді. Өнім үлгілері 20 ± 2°C температураға дейін салқындатылды, содан кейін таңбаланған ақ түсті пластик ыдыстарға орналастырылды. Әрбір үлгі бес сенсорлық көрсеткіш бойынша бағаланды: сыртқы түрі, түсі, иісі, консистенциясы және дәмі. Әрбір көрсеткішке сарапшылар 0-5 балдық шкала бойынша жеке баға берді.

Өнімдегі көмірсулардың массалық үлесі перманганатометриялық әдіс арқылы анықталды. Әдістің мәні көмірсулардың тотығу-тотықсыздану реакциясына қатысу қабілетін пайдалану.

Зерттеу нәтижелері. Куттерлеу режимдерінің оңтайлы параметрлерін айқындау мақсатында тәжірибелік үлгілерге жүргізілген зерттеу нәтижелері салыстырмалы бағалауды жеңілдету және зерттелген үлгілер арасындағы айырмашылықтарды көрнекі көрсету үшін диаграммалар түрінде ұсынылды. Куттерлеуден кейін, яғни стерильдеуге дейін анықталған аэрация деңгейінің нәтижелері 1-суретте көрсетілген.

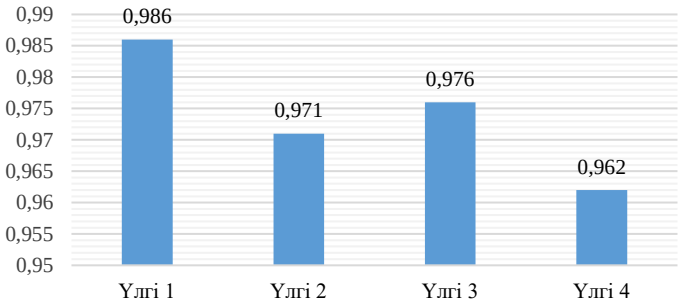
Аэрация деңгейін салыстырмалы талдау куттерлеу ұзақтығы мен кескіш пышақтардың айналу қарқындылығы ет массасының газ фазасымен қанығу дәрежесіне тікелей әсер ететінін көрсетті. Зерттелген үлгілер ішінде ең төменгі аэрация деңгейі Үлгі 1-де тіркелді, мұнда көрсеткіш 6,24 %/көлем құрады. Ұзақтығы өзгермей, айналу жылдамдығы 3000 айн/мин-ге дейін арттырылған Үлгі 3-те аэрация 7,03 %/көлемге дейін жоғарылады. Аталған өзгеріс кескіш пышақтардың жоғары жылдамдықта жұмыс істеуі кезінде массаға ауа көбірек енгізілетінін және дисперсиялық жүйеде газ көпіршіктерінің ұсталып қалу ықтималдығы артатынын аңғартады.



Сурет 1. Куттерлеу режимдеріне байланысты аэрация деңгейінің өзгеруі

Куттерлеу ұзақтығы 15 минутқа дейін ұлғайтылған үлгілерде аэрация деңгейінің одан әрі өскені анықталды. Атап айтқанда, 1500 айн/мин режимінде (үлгі 2) бұл көрсеткіш 7,88%/көлемге жетсе, ең жоғары мән 4-үлгіде тіркеліп, 8,57%/көлемді құрады. Нәтижелер куттерлеу уақытының ұзаруы мен пышақтардың айналу қарқындылығының артуы аэрацияны күшейтетінін дәлелдейді. Әсіресе ұзақ уақыттық өңдеу жағдайында фарш массасының қарқынды механикалық әсерге ұшырауы оның құрылымына ауаның көбірек енуіне себеп болған.

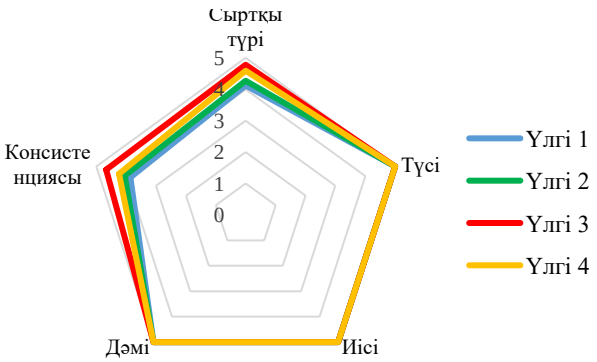
Куттерлеу режимдеріне байланысты үлгілердің тығыздық көрсеткіштері 2-суретте көрсетілген



Сурет 2. Куттерлеу режимдеріне байланысты үлгілердің тығыздық көрсеткіштері

Үлгілердің тығыздық нәтижелері зерттелген үлгілер арасында айқын айырмашылық бар екенін көрсетті. Ең жоғары тығыздық мәні Үлгі 1-де тіркеліп, 0,986 г/см³ құрады, ал ең төмен көрсеткіш Үлгі 4-те байқалып, 0,962 г/см³ деңгейінде болды. Үлгі 2 мен Үлгі 3 аралық мәндермен сипатталды және тиісінше 0,971 және 0,976 г/см³ болды. Алынған деректер аэрация нәтижелерімен үйлеседі. Аэрация деңгейі жоғарылаған сайын өнімнің тығыздығы төмендегені байқалды. Бұл өнім құрылымында газ фазасының үлесі артқан сайын массаның ықшамдылығы азаятынын және тығыздық көрсеткішінің аэрация деректерін жанама түрде растайтынын дәлелдейді.

Куттерлеу режимдерінің дайын өнімнің тұтынушылық қасиеттеріне ықпалын бағалау үшін жүргізілген органолептикалық талдау нәтижелері 3-суреттегі профилограммада көрсетілген.



Сурет 3. Үлгілердің органолептикалық профильдері

Органолептикалық бағалау барысында зерттеушілер үлгілердің түсі, иісі және дәмі өзгермегенін атап өтіп барлық үлгілерді жоғары бағалады. Бұл зерттелген куттерлеу режимдері аталған көрсеткіштерге айқын теріс әсер етпегенін көрсетеді. Айырмашылықтар негізінен сыртқы түрі мен консистенциясы бойынша байқалды. Ең төмен бағалар Үлгі 1-де тіркелді: сыртқы түрі – 4,12 балл, консистенциясы – 3,86 балл. Үлгі 2-де бұл көрсеткіштер сәл жоғары болды және тиісінше 4,27 және 4,05 баллды құрады. Зерттеушілер аталған үлгілерде жеткіліксіз куттерлеуге тән белгілер байқалғанын атап өтті, яғни масса толық біртекті болмады, құрылымында ұсақталмай қалған майда бөлшектер сезілді, консистенциясы салыстырмалы түрде әлсіз әрі біркелкі емес болды.

Ең жоғары органолептикалық көрсеткіш Үлгі 3-те анықталды – сыртқы түрі 4,78 балл, консистенциясы 4,67 балл болды. Бұл үлгіде масса неғұрлым біртекті, жағынды құрылымы тегіс және ауызда қабылдануы жағымдырақ екені байқалды. Үлгі 4-те сыртқы түрі мен консистенциясының төмендеуі атап өтілді. Орташа органолептикалық баға бойынша ең төмен нәтиже Үлгі 1-де байқалып, 4,60 баллды құрады, ал ең жоғары мән Үлгі 3-те тіркеліп, 4,89 баллға жетті.

Зерттеу нәтижелерін талқылау. Аэрация бойынша алынған нәтижелер куттерлеу уақыты мен кескіш пышақтардың қарқындылығы ет массасының газ фазасымен қанығуына тікелей ықпал ететінін көрсетті. Алынған деректер куттерлеу уақытының ұзаруы аэрацияны күшейтетін басты параметр екенін көрсетті, ал пышақтардың айналу жиілігінің артуы бұл үрдісті қосымша үдетеді.

Куттерлеу кезінде ет жүйесінде бұлшықет тіні майдаланады, миофибриллярлық ақуыздар экстракцияланады, май диспергирленеді, су мен май фазалары ақуыз матрицасына таралады. Дегенмен осы пайдалы құбылыстармен қатар массаға ауа да ілесіп енеді. Өңдеу тым қысқа болса, жүйе жеткілікті дәрежеде гомогенденбейді, ал өңдеу шамадан тыс ұзаққа созылса, үйкеліс күші фарш температурасын көтеріп, ақуыздардың жергілікті денатурациясын, байланысқан судың босауын және эмульсия тұрақтылығының әлсіреуін туындатады. Alvarez және әріптестері ет эмульсиялары үшін куттерлеудің 2-8 минут аралығы ең қолайлы аймақ екенін, ал уақыттың әрі қарай өсуі ет жүйесі беріктігін төмендететінін көрсеткен. Біздің жұмыста 15 минуттық өңделген Үлгі 2 мен Үлгі 4-те аэрацияның айқынырақ жоғары болуы осы механизммен сәйкестік көрсетті [15-17].

Қаттылық көрсеткіштерін талдағанда, бұл параметрді аэрациямен тікелей емес, құрылымдық-механикалық жауап ретінде қарастырған дұрыс. Біздің нәтижелер куттерлеу режимі өзгерген сайын қаттылық та өзгеретінін көрсетті. Бұл аэрация динамикасымен байланысты болғанымен, оған толық тең келмейді. Себебі қаттылыққа тек ауа көпіршіктерінің саны ғана емес, май бөлшектерінің өлшемі, ақуыздардың экстракция дәрежесі, суды ұстап қалу қабілеті және стерильдеу кезінде гель торының қалай бекітілетіні де әсер етеді [18,19].

Органолептикалық талдау нәтижелері куттерлеу режимдерінің өнімнің барлық сенсорлық қасиеттеріне бірдей әсер етпейтінін көрсетті. Кескіш пышақтардың қарқындылығы 1500 айн/мин болған үлгілерде масса толық біртекті болмады және ауызда майда бөлшектер сезілді. Мұндай нәтиже төмен қарқындылықтағы куттерлеуде май мен ақуыз фазалары толық диспергирленбейтінімен түсіндіріледі. Үлгі 3-тің ең жоғары органолептикалық баға алуы ұсақтау дәрежесінің, құрылымдық біртектіліктің және консистенцияның оңтайлы үйлесуіне байланысты. Ал Үлгі 4-тің сыртқы түрі мен консистенциясында артық борпылдақтық және «көпіршітілген» құрылым белгілері байқалды, бұл оның «аса куттерленгенін» көрсетеді [20].

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу нәтижелері балалар тағамына арналған ет консервілерін өндіруде куттерлеу режимі өнім сапасын қалыптастыратын негізгі технологиялық факторлардың бірі екенін көрсетті. Куттерлеу уақытының ұзаруы мен кескіш пышақтардың айналу қарқындылығының артуы ет массасының аэрация деңгейін жоғарылатты, соған сәйкес өнімнің тығыздығы төмендеді. Ең төмен аэрация Үлгі 1-де 6,24%/көлем деңгейінде байқалса, ең жоғары көрсеткіш Үлгі 4-те 8,57%/көлемге жетті. Бұл кезде тығыздық, керісінше, 0,986 г/см³-тен 0,962 г/см³-ке дейін төмендеді. Алынған деректер куттерлеу кезінде ауа көпіршіктерінің жиналуы өнім құрылымының ықшамдылығын әлсіреететінін және куттерлеу режимі аэрация мен құрылымдық тұрақтылық арасындағы тепе-теңдікті анықтайтынын дәлелдеді.

Органолептикалық бағалау нәтижелері бойынша ең қолайлы үлгі ретінде Үлгі 3 анықталды, оның орташа бағасы 4,89 балл болды. Бұл үлгіде өнімнің сыртқы түрі, консистенциясы және құрылымдық біртектілігі неғұрлым жоғары деңгейде қалыптасты. Үлгі 1 мен Үлгі 2-де жеткіліксіз куттерлеуге тән белгілер байқалып, масса толық біртекті болмады және майда бөлшектер сезілді. Үлгі 4-те жоғары аэрациямен қатар артық борпылдақтық пен «көпіршітілген» құрылым белгілері көрініс берді, бұл оның аса куттерленгенін көрсетті. Осылайша, зерттелген режимдер ішінде балалар тағамына арналған ет консервілері үшін технологиялық тұрғыдан ең оңтайлы режим ретінде 8 минут бойы 3000 айн/мин жылдамдықпен жүргізілген куттерлеу ұсынылады, себебі дәл осы жағдайда аэрация, тығыздық және органолептикалық көрсеткіштер арасында ең тиімді үйлесім қалыптасты. Болашақ зерттеулерде куттерлеу режимдерінің өнімнің микроструктурасына, тотығу тұрақтылығына және сақтау кезіндегі сапа өзгерістеріне әсерін тереңірек қарастыру жоспарланды.

Әдебиеттер тізімі

1. Balehegn M., et al. The importance of meat for cognitive development // Meat and Muscle Biology. – 2023. – Vol. 5, No. 3.

2. Savin M., et al. Additives in children's nutrition – a review of current events // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2022. – Vol. 19, No. 20. – Art. 13452.
3. Neufingerl N., Eilander A. Nutrient intake and status in children and adolescents consuming plant-based diets compared to meat-eaters: a systematic review // Nutrients. – 2023. – Vol. 15, No. 20. – Art. 4341.
4. Георгиева О.В. Классификация продуктов детского питания, требования к их качеству и безопасности [Текст] / О.В. Георгиева, Е.А. Пырьева, И.Я. Конь // Пищевая промышленность. – 2018. – № 6. – С. 61–65.
5. Колпакова В.В. Функциональные характеристики и молекулярно-структурная модификация растительных белков [Текст] / В.В. Колпакова, В.А. Бызов // Пищевые системы. – 2024. – Т. 7, № 3. – С. 324–335.
6. Han Z., et al. A review of oil and water retention in emulsified meat products: The mechanisms of gelation and emulsification, the application of multi-layer hydrogels // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2024. – Vol. 64, No. 23. – P. 8308–8324.
7. Zhao H., et al. Novel strategies for reducing phosphates in emulsified meat products: a review of phosphate replacers and new processing technologies // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2021.
8. Тариченко А.И. Биотехнология продуктов питания из сырья животного [Текст] / А.И. Тариченко. – М.: Издательство, 2018.
9. Kulikova M.A., et al. Optimization of technology for processing liquid waste from meat processing plants // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol. 421, No. 2. – Art. 022067.
10. Awuchi C.G., Igwe V.S., Echeta C.K. The functional properties of foods and flours // International Journal of Advanced Academic Research. – 2019. – Vol. 5, No. 11. – P. 139-160.
11. Вегнер Н.А. Контроль реологических параметров при куттеровании фарша для колбасных производств [Текст] / Н.А. Вегнер, А.С. Преснова // Пищевые инновации и биотехнологии. – 2022. – С. 10-11.
12. Храмова В.Н., и др. Способ производства колбасного хлеба [Текст] // Изобретения. Полезные модели. – 2020. – Патент RU 2726896.
13. Ismail M.A., Chong G.H., Ismail-Fitry M.R. Comparison of the microstructural, physicochemical and sensorial properties of buffalo meat patties produced using bowl cutter, universal mixer and meat mixer // Journal of Food Science and Technology. – 2021. – Vol. 58, No. 12. – P. 4703-4710.
14. Hammer G., Stoyanov S. Geometry of chopping knives versus disintegration of tissues: chopping with one knife for three minutes at different bowl power feed-reduction ratio of the sausage emulsion // Fleischwirtschaft. – 2010.
15. Álvarez D., et al. Prediction of meat emulsion stability using reflection photometry // Journal of Food Engineering. – 2017. – Vol. 82, No. 3. – P. 310-315.
16. do Nascimento R., et al. Effect of processing (cutter versus continuous emulsifier) and sodium reduction on the physicochemical properties of bologna sausages // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2024. – Vol. 104, No. 2. – P. 1207-1212.
17. Batrachenko O. Modelling of Hydrodynamics of Meat Raw Materials When Crushing It in Meat Cutting Machines // Information Technology for Education, Science and Technics: Proceedings of the International Scientific-Practical Conference. – Cham: Springer Nature Switzerland, 2022. – P. 386-410.
18. Santhi D., Kalaikannan A., Sureshkumar S. Factors influencing meat emulsion properties and product texture: A review // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2017. – Vol. 57, No. 10. – P. 2021-2027.
19. Ren Y., et al. Application of emulsion gels as fat substitutes in meat products // Foods. – 2022. – Vol. 11, No. 13. – Art. 1950.

20. Krzywdzińska-Bartkowiak M., Piątek M., Kowalski R. The influence of the rotational speed of the meat cutter knives and bowl on the microstructure of meat products // Scientific Reports. – 2022. – Vol. 12, No. 1. – Art. 15492.

Материал редакцияға 10.02.26 түсті, 10.06.26 қабылданды.

Я.М. Узаков[1], М.А-А. Калдарбекова[1], Н.Л. Вострикова[2], А.Т. Топаева[1], Ч.К. Авылов[3]

[1]Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан
[2]ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова, Москва, Российская Федерация
[3]Российский биотехнологический университет, Москва, Российская Федерация

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КУТТЕРОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МЯСНЫХ КОНСЕРВОВ ДЛЯ ДЕТСКОГО ПИТАНИЯ

Аннотация. Целью исследования являлась комплексная оценка влияния режимов куттерования без вакуумирования на уровень аэрации и органолептические характеристики мясных консервов для детского питания, а также определение технологически наиболее оптимального режима. В соответствии с поставленной целью в ходе исследования были рассмотрены четыре экспериментальных варианта куттерования: 8 мин – 1500 об/мин, 15 мин – 1500 об/мин, 8 мин – 3000 об/мин и 15 мин – 3000 об/мин. Все образцы были приготовлены при одинаковой рецептуре, а различия между ними формировались только за счёт продолжительности куттерования и интенсивности вращения режущих ножей. После куттерования определяли уровень аэрации продукта, а также исследовали показатели плотности и органолептические характеристики готового продукта. Результаты показали, что показатель аэрации увеличился с 6,24 до 8,57%/об., тогда как плотность снизилась с 0,986 до 0,962 г/см^3. Это подтверждает, что по мере возрастания интенсивности куттерования усиливается накопление газовой фазы в структуре продукта. Наивысшая органолептическая оценка была зарегистрирована у образца, приготовленного при режиме 8 мин – 3000 об/мин, и составила 4,89 балла. В то же время длительная и высокоинтенсивная обработка усиливала избыточную аэрацию и приводила к появлению структурных признаков, характерных для перекуттерованности. Полученные результаты позволяют рекомендовать для мясных консервов детского питания режим куттерования 8 минут при скорости 3000 об/мин как наиболее оптимальный.

Ключевые слова: куттерование, аэрация, мясные консервы, детское питание, плотность, органолептическая оценка.

Ya.M. Uzakov[1], M.A-A. Kaldarbekova[1], N.L. Vostrikova[2], A.T. Topaeva[1], Ch.K. Avylov[3]

[1]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan
[2]V.M. Gorbatov FRC for Food Systems, Moscow, Russian Federation
[3]Russian Biotechnological University, Moscow, Russian Federation

OPTIMIZATION OF THE CUTTERING PROCESS IN THE PRODUCTION OF CANNED MEAT PRODUCTS FOR CHILDREN NUTRITION

Abstract. The aim of the study was to comprehensively assess the effect of non-vacuum cutter processing modes on the aeration level and organoleptic characteristics of canned meat products for infant nutrition, as well as to determine the most technologically optimal mode. In accordance with this aim, four experimental cutter processing variants were investigated: 8 min – 1500 rpm, 15 min – 1500 rpm, 8 min – 3000

rpm, and 15 min – 3000 rpm. All samples were prepared using the same formulation, and the differences between them were determined solely by cutter processing time and the rotational intensity of the cutting knives. After cutter processing, the aeration level of the product was determined, and the density and organoleptic characteristics of the finished product were also evaluated. The results showed that the aeration value increased from 6,24 to 8,57 % vol., while density decreased from 0,986 to 0,962 g/cm³. This confirms that as the intensity of cutter processing increases, the accumulation of the gas phase in the product structure also intensifies. The highest organoleptic score was recorded for the sample prepared under the 8 min – 3000 rpm mode and amounted to 4,89 points. At the same time, prolonged and high-intensity processing intensified excessive aeration and led to the appearance of structural features characteristic of over-cutting. The obtained results make it possible to recommend cutter processing for 8 minutes at a speed of 3000 rpm as the most optimal mode for canned meat products for infant nutrition.

Keywords: cutter processing, aeration, canned meat products, infant nutrition, density, organoleptic evaluation.

References

1. Balehegn M., et al. The importance of meat for cognitive development // Meat and Muscle Biology. – 2023. – Vol. 5, No. 3.
2. Savin M., et al. Additives in children's nutrition – a review of current events // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2022. – Vol. 19, No. 20. – Art. 13452.
3. Neufingerl N., Eilander A. Nutrient intake and status in children and adolescents consuming plant-based diets compared to meat-eaters: a systematic review // Nutrients. – 2023. – Vol. 15, No. 20. – Art. 4341.
4. Georgieva O.V., Pyr'eva E.A., Kon' I.Ya. Klassifikatsiya produktov detskogo pitaniya, trebovaniya k ikh kachestvu i bezopasnosti [Classification of baby food products, requirements for their quality and safety] // Food Industry. – 2018. – No. 6. – P. 61-65. [in Russian].
5. Kolpakova V.V., Byzov V.A. Funktsional'nye kharakteristiki i molekulyarno-strukturnaya modifikatsiya rastitel'nykh belkov [Functional characteristics and molecular-structural modification of plant proteins] // Food Systems. – 2024. – Vol. 7, No. 3. – P. 324-335. [in Russian].
6. Han Z., et al. A review of oil and water retention in emulsified meat products: The mechanisms of gelation and emulsification, the application of multi-layer hydrogels // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2024. – Vol. 64, No. 23. – P. 8308–8324.
7. Zhao H., et al. Novel strategies for reducing phosphates in emulsified meat products: a review of phosphate replacers and new processing technologies // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2021.
8. Tarichenko A.I. Biotekhnologiya produktov pitaniya iz syr'ya zhivotnogo [Biotechnology of Food Products from Animal Raw Materials]. – Moscow, 2018. [in Russian].
9. Kulikova M.A., et al. Optimization of technology for processing liquid waste from meat processing plants // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol. 421, No. 2. – Art. 022067.
10. Awuchi C.G., Igwe V.S., Echeta C.K. The functional properties of foods and flours // International Journal of Advanced Academic Research. – 2019. – Vol. 5, No. 11. – P. 139-160.
11. Vegner N.A., Presnova A.S. Kontrol' reologicheskikh parametrov pri kutterovanii farsha dlya kolbasnykh proizvodstv [Control of rheological parameters during meat batter chopping for sausage production] // Food Innovations and Biotechnology. – 2022. – P. 10-11. [in Russian].

12. Khramova V.N., et al. Sposob proizvodstva kolbasnogo khleba [Method for producing sausage bread] // Izobreteniya. Poleznye modeli [Inventions. Utility Models]. – 2020. – Patent RU 2726896. [in Russian].
13. Ismail M.A., Chong G.H., Ismail-Fitry M.R. Comparison of the microstructural, physicochemical and sensorial properties of buffalo meat patties produced using bowl cutter, universal mixer and meat mixer // Journal of Food Science and Technology. – 2021. – Vol. 58, No. 12. – P. 4703-4710.
14. Hammer G., Stoyanov S. Geometry of chopping knives versus disintegration of tissues: chopping with one knife for three minutes at different bowl power feed-reduction ratio of the sausage emulsion // Fleischwirtschaft. – 2010.
15. Álvarez D., et al. Prediction of meat emulsion stability using reflection photometry // Journal of Food Engineering. – 2017. – Vol. 82, No. 3. – P. 310-315.
16. do Nascimento R., et al. Effect of processing (cutter versus continuous emulsifier) and sodium reduction on the physicochemical properties of bologna sausages // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2024. – Vol. 104, No. 2. – P. 1207-1212.
17. Batrachenko O. Modelling of Hydrodynamics of Meat Raw Materials When Crushing It in Meat Cutting Machines // Information Technology for Education, Science and Technics: Proceedings of the International Scientific-Practical Conference. – Cham: Springer Nature Switzerland, 2022. – P. 386-410.
18. Santhi D., Kalaikannan A., Sureshkumar S. Factors influencing meat emulsion properties and product texture: A review // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2017. – Vol. 57, No. 10. – P. 2021-2027.
19. Ren Y., et al. Application of emulsion gels as fat substitutes in meat products // Foods. – 2022. – Vol. 11, No. 13. – Art. 1950.
20. Krzywdzińska-Bartkowiak M., Piątek M., Kowalski R. The influence of the rotational speed of the meat cutter knives and bowl on the microstructure of meat products // Scientific Reports. – 2022. – Vol. 12, No. 1. – Art. 15492.

ҒТАМР 65.29.03

П.М. Маликтаева[1] – *негізгі автор,*
А.Б. Мынбаева[2], К.Ш. Саржанова[3], М.С. Маралбай[4]

[1]Техн. ғылым. канд., кафедра меңгерушісі,
[2,3]Техн. ғылым. канд., доцент, [4]Магистр

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0002-1251-811X [2]https://orcid.org/0000-0002-3799-2686*
[3]https://orcid.org/0009-0005-9898-8794 [4]https://orcid.org/0009-0009-7796-4557

[1,3,4]Шерхан Мұртаза атындағы Халықаралық Тараз университеті, Тараз, Қазақстан
[2]М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан

@ *[1]Sakosh_78@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/PEDA1991

ЖАРМА ТҮРЛЕРІН ӨҢДЕУГЕ ЖӘНЕ ПРЕСТЕУГЕ ӘСЕРІН ТИГІЗЕТІН НЕГІЗГІ ФИЗИКАЛЫҚ ЖӘНЕ МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН АНЫҚТАУ

Аңдатпа. Әр шикізаттың түріне, формасы мен өлшемдеріне байланысты өзіне тән физикалық және механикалық қасиеттері болады. Бұл қасиеттер дайын өнімнің сапасы мен мөлшеріне, технологиялық машиналардың жұмыс істеу тиімділігіне және процестердің энергия шығынына әсер етеді. Әдетте жұмыс барысында машиналардың, механикалық күш пен басқа факторлардың (мысалы температура, ылғалдылық) әсерінен өңделетін шикізат уақытқа байланысты түрлі өзгеріске ұшырайды. Бұл жұмыста жарма өнімдерін өңдеуге әсерін тигізетін негізгі физикалық және механикалық қасиеттері көрсетілді. Сусымалы материалдарды престеудің көптеген теңдеулері, оның ішінде тұтастық жорамалы негізінде алынған Н.Ф. Кунин мен В.Д. Юрченконың кең қолдану тапқан теңдеуі, келтірілді.

Тірек сөздер: жарма, аэродинамика, бөлшек, масса, тығыздық, қысым.

Маликтаева, П.М. Жарма түрлерін өңдеуге және престеуге әсерін тигізетін негізгі физикалық және механикалық қасиеттерін анықтау [Мәтін] / П.М. Маликтаева, А.Б. Мынбаева, К.Ш. Саржанова, М.С. Маралбай // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №2(92). – Б.117-127. https://doi.org/10.55956/PEDA1991

Кіріспе. Шет елдік тамақтар құрамында адам ағзасына аса зиянды, тіптен болашақ ұрпақты бірнеше жылдардан кейін гендік мутацияға ұшырататын заттар кездесуі әбден мүмкін екендігін ескеріп, денсаулыққа пайдалы, профилактикалық қасиеттерге ие ұлттық тағам өнімдерін ғылыми негізде жасау өзекті мәселе екендігі дәйектелді.

Тамақ концентраттарының ішінде кең қолдану тапқан жарма және жарма өнімдері түрлерінің тамақтық құндылықтарына талдау жасалынып, оларға минералды және дәрумендік құрамдары бойынша баға берілді. Сапасы алдын-ала берілген бірнеше дақылдардан тұратын композитті қоспаны жасау арқылы функционалды түрлі тағамдарды жасау қажеттілігі туындады.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Технологиялық процестерді дұрыс басқару үшін міндетті түрде шикізаттардың физикалық және механикалық қасиеттерін білу инженер үшін аса маңызды.

Ганулометриялық құрамы – сусымалы жармадағы белгілі диаметрлі бөлшектердің жалпы коспаның қанша бөлігін құрайтынын көрсетеді.

Мұны белгілі диаметрді кездейсоқ шама деп қарастырсақ, онда шашпа қоспасының ганулометриялық құрамын математикалық статистика әдістерімен өрнектеуге болады. Осы мақсатпен кездейсоқ шамалардың жайғасу гистогаммасын тұрғызады.

Резине-Реммлердің кең тараған формуласы [1]:

$$F(d)=100\left\{1-\exp\left[-\frac{d_{эі}}{d_e}\right]^a\right\}, \qquad (1)$$

мұндағы: $F(d)$ – диаметрі $d_{эі}$ – бөлшектердің қосынды массасы; $d_{эі}$ – топтағы бөлшектердің эквивалентті диаметрінің орташа мәні; d_e – диаметрі d-ден үлкен белшектердің қосылу массасы 36,8%, ал d-ден кіші – 63,2% құрайтын бөлшектердің диаметрі; a – өлшемдеріне қарай бөлшектердің біркелкілігін сипаттайтын параметр.

Физикалық қасиеттері. Кеуектілік бөлшектердің ганулометриялық құрамына, олардың жайғасу тәсіліне байланысты.

Сусымалы қоспаның кеуектілігін төмендегі формуламен анықтайды:

$$E=\frac{V_1}{V_2}, \qquad (2)$$

мұндағы: V_1 – бөлшектердің аралығындағы бос көлемдердің қосындысы, $м^3$; V_2 – сусымалы қоспаның көлемі, $м^3$.

Бөлшектердің ірілігі. Кез келген сусымалы қоспа – формасы мен ірілігі әр түрлі болып келген негізгі өнім мен бөгде қоспалардың бөлшектерінен тұрады.

Құрама жем өндірісінде сусымалы қоспаны сұрыптау мен тазалау бөлшектердің геометриялық өлшемдеріне байланысты електі сұрыптаушыларда жүргізіледі.

Негізгі шикізатты шығынсыз бөлу үшін тоқылған немесе штампталған елек саңылауларының өлшемдерін (елек нөмірі) дұрыс таңдай білу, процесті ең жоғары тиімділікпен жүргізуге мүмкіндік туғызады.

Бөлшектердің аэродинамикалық қасиеттері. Әдетте жеңіл бөгде қоспаларды (шаң, шөп-шалам) ауа ағымымен оларға әсер ету арқылы бөледі.

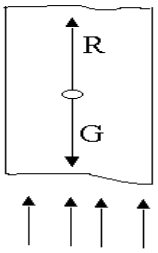
Ауа ағымының турбулентті қозғалысы кезінде оның өз өрісіндегі бөлшекке динамикалық әсерін темендегі Ньютон формуласы арқылы анықтауға болады [2]:

$$R=\xi A\frac{\rho\upsilon^2}{2}, \qquad (3)$$

мұндағы: ξ – аэродинамикалық кедергі коэффициенті; A – мидель қимасы (бөлшектің салыстырмалы жылдамдығы векторының нормаль жазықтығына түсірілген қимасының проекциясы), $м^2$; ρ – ауаның тығыздығы, $кг/м^3$; υ – ауа ағымы өрісіндегі бөлшектің салыстырмалы жылдамдылығы, $м/с$.

Аэродинамикалық кедергі коэффициентінің мәні бөлшектің формасына, бет жағдайына (кедір-бұдырлы) және ауа ағымының қозғалу тәртібіне байланысты.

Енді 1-суретке сәйкес келтірілген вертикаль құбыр ішіндегі салмағы *G* бөлшекке төменнен жоғары бағытталған ауа ағымымен динамикалық күшпен *R* әсер етелік



Сурет 1. Ауа ағымының бөлшекке әсер етуі

Бұл кезеңде үш жағдай орын алады:

1. $R > G$ – бөлшек жоғары жылжиды.
2. $R < G$ – бөлшек төмен жылжиды.
3. $R = G$ – бөлшек тепе-теңдік жағдайын сақтайды.

Шар тәріздес бөлшектер үшін (мысалы, бұршақ, ноқат) мидель қимасының *A* мәні өзгермейтіні себепті динамикалық әсер күші *R* тұрақты болады. Ал шар тәріздес емес бөлшектер кеңістікте өз қалпын сақтай алмай кез келген аз уақыт бірлігі ішінде *A* мәні өзгеріп отыратындығына байланысты *R* мәні де тұрақты емес.

Демек дәнді қоспаны аэродинамикалық қасиеттері арқылы сұрыптауды іске асыру үшін басқа көрсеткіштерді қолдану қажет. Ол үшін бөлшектің тепе-теңдік жағдайына оралайық, яғни $R=G$.

Ол үшін 3-формуланы пайдаланады

$$\xi \cdot A \frac{\rho}{2} V_к^2 = G = mg \quad , \qquad (4)$$

мұндағы: *m* – бөлшектің массасы, *кг*; $V_к$ – бөлшектің көлбеу жылдамдылығы, *м/с*.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Бөлшектің тепе-теңдік жағдайын сақтау кезіндегі ауа ағымының жылдамдығын бөлшектің көлбеу жылдамдығы деп атайды. Оның сан мәнін әдетте ауа классификаторында тәжірибе арқылы анықтайды.

Негізгі дән шикізаттары мен бөгде қоспалардың көлбеу жылдамдықтарының мәндері 1-кестеге сәйкес келтірілген [3]. Осы кестеде берілген мәліметтерді пайдалана отырып, дән қоспасын аэродинамикалық қасиеттері арқылы сұрыптауға алдын ала баға беруге болады.

Кесте 1

Көлбеу жылдамдықтар мен аэродинамикалық коэффициенттердің мәндері

Дән және бөгде қоспалар түрлері	Көлбеу жылдамдық, м/с	Аэродинамкалық Кедергі коэффициенті
Бидай	8,9-11,5	0,184-0,265
Арпа	8,4-10,8	0,191-0,272
Сұлы	8,1-9,1	0,169-0,300
Жүгері	12,5-14,0	0,162-0,236
Тары	9,8-11,8	0,045-0,073
Бұршақ	15,5-17,5	0,190-0,229
Бидайық	5,5-8,3	-
Бүріскен бидай	5,5-7,6	-
Тікесінен	5,8-8,3	-
көлденеңінен	8,0-9,8	-
ұзындығы 0,1 м-ге дейін сабан	8,0-6,0	-
Органикалық шаң (диаметрі 0,5х10-3 м-ге дейінгі бөлшектер)	2,5-ға дейін	-
Минералды шаң (диаметрі 0,5 х 10-3 м-ге дейінгі бөлшектер)	4,0-ке дейін	-

Сусымалы жармаларды престеу. Ауа ағымының жылдамдық шамасы берілген шикізат бөлшектердің көлбеу жылдамдығынан артса, онда негізгі өнімнің бөгде қоспалармен бірге аластатылатындығын ескерген жөн. Сондай-ақ өңделетін өнім сұрыптау каналына көп берілген жағдайда бөлшектердің көлбеу жылдамдықтары өзгереді. Өзіндік сұрыпталу темір жол немесе автомобиль көлігімен тасымалдау кезінде орын алады, механикалық дірілдің әсерінен шашпа қоспа сұйықтық қасиетке ие болады, яғни жеңіл бөлшектер қалқып жоғары көтерілсе, ауыр бөлшектер төмен шөгеді

Минералды шикізат қасиеттері. Минералды шикізатқа (ас тұзы) оның ылғалдылығы зор әсер етеді.

Сақтау барысында ылғалдылықтың өсуі, оларды тұтас сірескен массаға айналдырады. Ал өндіріске бағыттау үшін ас тұзын босаңсытып, ұсату керек. Бұл әрине қосымша энергия мен уақытты қажет етеді.

Сондай-ақ ылғалдылығы жоғары шикізаттарды өңдеу барысында елек саңылаулары бітеліп, оларды мөлшерлеу дәлдігі кемиді.

Сұйық шикізаттардың қасиеттері. Сұйық компоненттердің технологиялық процеске әсер ететін негізгі физикалық касиеті тұтқырлық болып саналады. Бұл материалдардың температурасы жоғарылаған сайын, молекула аралық байланыс күштері төмендейді, яғни тұтқырлығы кеміп, аққыштығы артады. Сондықтан қыс айларында бұл шикізаттарды (меласса, май) қыздыратын қондырғы қажет [2,3].

Сұйық шикізаттың меншікті тұтқырлығын анықтау үшін мына формуланы пайдаланады

$$\mu_{мен} = \frac{\mu_{ш}}{\mu_{су}}, \tag{5}$$

мұндағы: $\mu_{ш}$ – берілген шикізаттың меншікті тұтқырлығы, $Па \cdot с$; $\mu_{су}$ – судың тұтқырлығы, $Па \cdot с$.

Өңдеу барысында технологиялық машиналардың жұмыс мүшелері шикізаттарға механикалық күшпен әсер етіп, өнім тұйық кеңістікте сығымдалады. Бұл кезеңде түрлі деформациялар дамып, материалдың аққыштық қасиеті айқын білінеді.

Түрлі ортаның деформациялары мен ағуының негізгі заңдылықтарын реология ілімі зерттейді.

Деформация түрлеріне байланысты жарма серпімді, пластикалық денелер және нағыз тұтқыр сұйықтық сияқты қасиеттерді көрсетеді.

Негізінде сусымалы жарманы қатты немесе сұйық зат деп карастыруға болмайды. Бірақ, бұл материалдың ыдыс формасын қабылдау қабілеті және ағын түрінде қозғалуы оның сұйыққа ұқсас екендігін көрсетеді. Дегенмен жарманың әр бөлшегі тек қана қатты денелерге тән қасиеттерге ие.

Әдетте шашпа материалдар көлемінің өзгергіштігі оның ганулометриялық құрамына және көлеміндегі бар ауаның мөлшеріне байланысты.

Ұсатылған компоненттердің ірілігін анықтау үшін ірілік модулі *M* деген ұғым енгізілген. Оны есептеу үшін мына формуланы қолданады [4]

$$M = \frac{0{,}5P + 1{,}5P_1 + 2{,}5P_2 + 3{,}5P_3}{100}, \tag{6}$$

мұндағы: *P* – електі-талдаушының жинаушы түбіндегі қалдық, г; P_1 P_2, P_3 – диаметрлері *1, 2, 3 мм* болып келген дөңгелек саңылаулары бар електердегі сәйкес қалдықтар, *г.*

Механикалық қасиеттері**.** Шекті және бастапқы жылжу кедергілері бөлшектердің салыстырмалы жылжу барысындағы шашпа материалдардың деформациясын сипаттайды. Бұл кезеңде кернеу шекті жылжу кедергісінен τ_0 асқанда ғана жылжу басталады. τ_0 шамасын Кулон заңы бойынша анықтайды

$$\tau_0 = A + f\sigma, \tag{7}$$

мұндағы: *A* – бөлшектердің байланыс дәрежесін көрсететін коэффициент; f – бөлшектердің ішкі үйкеліс коэффициеті; σ – жылжу жазықтығындағы тік кернеу.

$\sigma = 0$ шартына (1.7) формуласы бойынша келесі шарт сәйкес келеді

$$\tau_0 = A = 0, \tag{8}$$

мұндағы: τ_0 – жылжуға бастапқы кедергі.

Идеалды сусымалы материалдар үшін $\sigma = 0, \tau_0 = 0$. Технологиялық машиналарды есептеу үшін шашпа материалдар мен жұмыс жазықтықтары арасында туатын сыртқы үйкеліс коэффициентін f_c қолданады.

Үйкеліс бұрышы мен еңкіштік бұрыш. Қоспаның бұл қасиеттерінің практикалық мәні бар. Өйткені, тасымалдау кезінде үйкеліс бұрышына

байланысты материал өздігінен жылжитын құбырлардың еңкею бұрышы, ал еңкіштік бұрыш арқылы науаларды толтыру коэффициенті анықталады.

Сусымалы жармаларды ганулге, брикетке, шар және таспа тәріздес түрге айналдыру – престеу деп аталынады. Сусымалы материалдың престелуі оның физикалық, механикалық қасиеттеріне (беріктілігі, қаттылығы, серпімділігі т.б.), ганулометрикалық құрамына, ылғалдылығына, температураға және көптеген факторларға байланысты [5,6].

Материалдың престелуін түрлі әдіспен анықтайды: тығыздығы берілген брикетті алуға қажетті қысым, қысым шамасына сәйкес брикеттің тығыздығын анықтау, сондай-ақ брикеттің қысымға байланысты түрлі физикалық және механикалық қасиеттерін білу.

Престеу кезеңде бөлшектердің ара байланысын түсіндіретін көптеген теориялар арнаулы әдибиеттерде кездеседі. Олардың ішінде капиллярлы, коллоидты, молекулалы, механикалық диффузиялы, электрофизикалы сияқты теориялар кең таралған.

Сусымалы материалдың престелуінің физикалық құбылысын төмендегіше түсіндіруге болады. Процестің бастапқы кезеңінде ұсақ бөлшектер жылжу мен түрлі жайғасуы арқылы өнім тығыздылығы артады. Бұл кезеңде бөлшектер арасындағы ауаның көп мөлшері ығыстырылады. Бастапқы тығыздалу шағын энергияны ғана қажет етеді.

Тығыздалудың келесі кезеңі бөлшектердің деформациялануы арқылы жүреді. Шығындалған көп мөлшерлі энергия жылуға, бөлшектердің түр өзгерісіне және оның еркін беттердің түзілу энергиясына жұмсалады.

Бөлшектердің бірігу байланысына олардың аққыштығы, жылудың бөлінуі және еркін химиялық байланыстыру себеп болады. Бір кезеңде пайда болатын адгезиялық және когезиялық байланыстар материалдың байланыс қабатын түзейді.

Престелудің соңы кезеңінде аса жоғары қысымның әсерінен бөлшектердің серпімді деформациялары пластикалық деформацияларға айналып, брикеттің берілген формасы сақталады.

Престеу теңдеулері. Престің өнімділігі мен престелген материалдың сапасы шашпа құрама жемді престеу процесінің негізгі көрсеткіштері болып саналады.

Бұл көрсеткіштер престеу қысымы мен брикеттің тығыздылығына байланысты болып келеді. Демек, технологиялық процесті дұрыс басқару мен престеуші жұмыс мүшелерінің ыңғайлы параметрлерін табу үшін құрама жем тығыздығы мен престеу қысымы арасындағы байланысты білу қажет.

Матрицада престеу кезеңінде сусымалы материалдың көлемі кішірейіп көлемдік массасы мен алынған брикеттің беріктілігі артады.

Брикеттің тығыздығының шашпа қоспаның тығыздығына қатынасы оның сығымдалу дәрежесін сипатайды [7]

$$\beta = \frac{\rho}{\rho_0} \tag{9}$$

немесе

$$\rho = \frac{M}{Sh_1}, \quad \rho_0 = \frac{M}{Sh}, \tag{10}$$

мұндағы: M – престелетін материалдың массасы, *кг*; S – матрицаның көлденең қимасының ауданы, $м^2$; h, h_1, – материалдың бастапқы және кезекті биіктіктері, *м.*

(1.9) және (1.10) салыстыра отырып келесі өрнекті аламыз

$$\beta = \frac{h}{h_1}. \tag{11}$$

Ал материалдың салыстырмалы сығымдалуын төменгі формуламен анықтаймыз

$$\varepsilon = \frac{h - h_1}{h}, \tag{12}$$

мұндағы: β немесе A мәндері престеу қысымына байланысты айнымалы шамалар болып келеді. Олар түсірілген қысымның әсерінен материалдың тығыздылығының артуын, берілген форма мен өлшемдерге сай брикеттің түзілуін сипаттайды [8].

Сондықтан престеу теориясының негізгі мақсаты – престеу қысымы мен материалдың тығыздалуын анықтайтын шамалармен байланысын табу.

Көптеген теориялық және экспериментті зерттеулер нәтижесінде түрлі шашпа материалды престеу процесстерін сипаттайтын теңдеулер ұсынылды.

Тұтастық жорамалы негізінде алынған Н.Ф. Кунин мен В.Д. Юрченконың мына теңдеуі кең қолдану тапты [9]

$$\rho = \rho_{пр} - \left(K_0 / \alpha \right) e^{-ap}, \tag{13}$$

мұндағы: ρ – қысымға сәйкес материалдың тығыздығы, $кг/м^3$; $\rho_{пр}$ – шекті шартты тығыздық, $кг/м^3$; K_o – бастапқы престеу коэффициенті; a – сығымдалудың азаю коэффициенті; p – престеу қысымы, *Па.*

Төмендегі жағдайды қарастыралық. Егер $p \to \infty$, онда $\rho \to \rho_{пр}$, өйткені

$$\left(K_0 / \alpha \right) e^{-ap} \to 0.$$

Престеудің бастапқы кезеңінде (яғни $p = 0$)

$e^{-ap} = 1$, ал $\rho = \rho_0$.

K_0 / α өрнегінің өлшемі бұл жағдайда тығыздық өлшемімен бірдей екендігі көрінеді. Ал қорытынды келесі түрге айналады делік

$$K_0 / \alpha = \rho_{пр} - \rho_0 = \rho_\beta, \tag{14}$$

мұндағы: ρ_0 – материалдың бастапқы тығыздығы, *кг/м*^{3}.
Енді (1.13) теңдеуді пайдаланайық

$$\rho = \rho_{пр} - \rho_{\beta} e^{-\alpha p}, \tag{15}$$

мұндағы: p - e^{-ap} – координаттарында престеуді іске асырушы қысым аймағындағы (1.15) теңдеуі түзу сызықты бейнелейді.

Металл үгінділерін тұйық кеңістікте сығымдау арқылы престеудің жанасу теориясын қолданған М.Ю. Бальшин төменгі теңдеуді ұсынды [10,11]

$$m \lg \rho = -\lg \rho + \lg \rho_{vak}, \tag{16}$$

мұндағы: m – тұрақты коэффициент; ρ – салыстырмалы тығыздық, *кг/м*^{3}; p – престеу қысымы, *Па*; P_{max} – материалдың аса қатты сығылуына сәйкес қысым, *Па*.

В.Т. Егоров жүргізілген ғылыми зерттеулер нәтижесінде престеу қысымы мен құрама жемді гранулдеу параметрлері арасындағы байланысты келесі теңдеумен өрнектеді [12,13]

$$\rho = \frac{p_б}{E}\left(e^{fE\frac{C}{S}h} - 1\right), \tag{17}$$

мұндағы: $p_б$ – алдын-ала сығылған құрама жемнің серпімділігіне себепші болған қалдық бүйірлік қысым, *Па; E* – бүйірлік қысым коэффициенті; f – үйкеліс коэффициенті; C – саңылау периметрі, *м*; S – саңылаудың көлденең қимасы ауданы, *м* ^{2}; h – матрица саңылауының ұзындығы, *м*.

Ганулдеу процесіне әсер етуші параметрдердің әсерін келтірілген теңдеу толық түсіндіреді.

Сабақ тәрізді жемдік материалды престеу процессі Е.А. Храпачтың төмендегі теңдеумен сипатталады [14]

$$p = a\gamma^n \alpha \beta k, \tag{18}$$

мұндағы: a,n – тәжірибе коэффициенттері; γ – көлемдік масса, *кг/м*^{3}; α – сабақ тәріздес жемнің ылғалдылығын ескеретін коэффициент; β – жаншу жылдамдығын ескеретін коэффициент; k – сабақ тәріздес жемнің беріктілігіне байланысты коэффициент.

Г.Я. Фарбман толық рационды құрама жемді престеу кезеңінде қысым мен материалдың тығыздығы арасындағы байланыс дережелі заңдылыққа бағынатынын дәлелдеді [14].

$$P = A\rho^m, \tag{19}$$

мұндағы: A, m – престелген материалдың физикалық және механикалық қасиеттерін сипаттайтын тұрақты коэффициенттер; p – матрицадағы ганул тығыздығы, *кг/м*^{3}.

Қорытынды. Жарма өнімдерін өңдеуге әсерін тигізетін негізгі физикалық және механикалық қасиеттері көрсетілді. Сусымалы материалдарды престеудің көптеген теңдеулері, оның ішінде тұтастық жорамалы негізінде алынған Н.Ф. Кунин мен В.Д. Юрченконың кең қолдану тапқан теңдеуі, келтірілді.

Әдебиеттер тізімі

1. Кунин Н.Ф. Закономерности прессования различных материалов [Текст] / Н.Ф. Кунин, Б.Д. Юрченко // Порошковая металлургия. – 1963. – № 6. – С. 3-6.
2. Оспанов А.А. Основы теории и моделирования процессов измельчения пищевого сырья и кормов [Текст] / А.А. Оспанов, Н.В. Остапчук. – Алма-Ата: Ғылым, 1992. – 244 с.
3. Спандияров Е.С. Трехпараметрическая модель пшеничной крупы [Текст] / Е.С. Спандияров, А.С. Боранкулова, С.К. Андакулов // Инновационные технологии продуктов здорового питания, их качество и безопасность: материалы Международной научно-практической конференции. – Алматы, 29-30 ноября 2010 г. – С. 275-276.
4. Спандияров Е.С. Измельчение зерна пшеницы с учетом релаксационных свойств [Текст] / Е.С. Спандияров, Т.М. Джунисбеков, Г.З. Жайшибеков // Механика и моделирование процессов технологии. – 2010. – № 2. – С. 304-308.
5. Спандияров Е.С. Обобщенное уравнение ползучести пшеничной крупы [Текст] / Е.С. Спандияров, А.С. Боранкулова, Б.Е. Солтыбаева // Хранителна наука, техника и технологии 2011: научные труды. – Пловдив, Болгария, 14-15 октября 2011 г. – Т. LVIII. – Вып. 3. – С. 355-358.
6. Мачихин Ю.А. Таблетирование пищевых материалов [Текст] / Ю.А. Мачихин, Г.Г. Зурабишвили. – М.: Пищевая промышленность, 1978. – 135 с.
7. Спандияров Е.С. Обработка пищевых материалов механическим давлением [Текст] / Е.С. Спандияров, С.М. Айтышев, А.С. Боранкулова, П. Маликтаева, Б.А. Сариев. – Тараз: Жамбылский ЦНТИ, 2004. – 35 с.
8. Спандияров Е.С. Моделирование зерна пшеницы при сжатии [Текст] / Е.С. Спандияров, А.С. Боранкулова, Ш.Ж. Умирбаева // ACHIEVEMENT OF HIGH SCHOOL – 2011: материалы VII Международной научно-практической конференции. – София, 17-25 ноября 2011 г. – Т. 26. – Сельское хозяйство. – С. 52-55.
9. Азаров Б.М. Инженерная реология пищевых производств [Текст] / Б.М. Азаров, В.Р. Арет. – М.: МТИПП, 1978. – 112 с.
10. Спандияров Е.С. Релаксационные процессы в зерновом сырье [Текст] / Е.С. Спандияров, Т.М. Джунисбеков. – Жамбыл: ЦНТИ, 1993. – 97 с.
11. Джунисбеков Т.М. Релаксация напряжений в вязкоупругих материалах [Текст] / Т.М. Джунисбеков, В.Н. Кестельман, Н.И. Малинин. – Алматы: Ғылым, 1998. – 308 с.
12. Еркебаев М.Ж. Современные способы механической обработки пищевых масс [Текст] / М.Ж. Еркебаев. – Алматы, 1998. – 140 с.
13. Еркебаев М.Ж. Реология пищевых продуктов [Текст] / М.Ж. Еркебаев, Т.К. Кулажанов, Ю.А. Мачихин, Е.Б. Медведков. – Алматы, 2003. – 192 с.
14. Реометрия пищевого сырья и продуктов [Текст]: справочник / под ред. Ю.А. Мачихина. – М.: Агропромиздат, 1987. – 271 с.

Материал редакцияға 12.03.26 түсті, 19.05.26 қабылданды.

П.М. Маликтаева[1], А.Б. Мынбаева[2], К.Ш. Саржанова[1], М.С. Маралбай[1]

[1]Международный Таразский университет им. Ш. Муртазы, Тараз, Казахстан
[2]Таразский университет им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ОБРАБОТКУ И ПРЕССОВАНИЕ ВИДОВ КРУПЫ

Аннотация. Каждое сырье имеет свои физические и механические свойства в зависимости от типа, формы и размеров. Эти свойства влияют на качество и количество готовой продукции, эффективность работы технологических машин и энергозатраты процессов. Обычно в процессе работы обрабатываемое сырье под влиянием машин, механической силы и других факторов (например, температуры, влажности) претерпевает различные изменения в зависимости от времени. В данной работе были продемонстрированы основные физические и механические свойства, влияющие на переработку крупяных продуктов. Приведено множество уравнений прессования сыпучих материалов, в том числе уравнение широкого применения н.ф.Кунина и В. Д. Юрченко, полученное на основе допущения целостности.

Ключевые слова: крупа, аэродинамика, частица, масса, плотность, давление.

P.M. Maliktaeva[1], A.P. Mynbaeva[2], K.Sh. Sarzhanova[1], M.S. Maralbay[1]

[1]Sherkhan Murtaza International Taraz University, Taraz, Kazakhstan
[2]M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan

DETERMINATION OF THE BASIC PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES AFFECTING THE PROCESSING AND PRESSING OF CEREALS

Abstract. Each raw material has its own physical and mechanical properties, depending on the type, shape and size. These properties affect the quality and quantity of finished products, the efficiency of technological machines, and the energy consumption of processes. Usually, during operation, the processed raw materials undergo various changes depending on time under the influence of machines, mechanical force and other factors (for example, temperature, humidity). In this work, the main physical and mechanical properties affecting the processing of cereal products were demonstrated. Many equations for the pressing of bulk materials are given, including the equation of widespread application by N.F.Kunin and V. D. Yurchenko, obtained on the basis of the assumption of integrity.

Keywords: grain, aerodynamics, particle, mass, density, pressure.

References

1. Kunin N.F., Yurchenko B.D. Zakonomernosti pressovaniya razlichnykh materialov [Regularities of pressing various materials] // Powder Metallurgy. – 1963. – No. 6. – P. 3-6. [in Russian].
2. Ospanov A.A., Ostapchuk N.V. Osnovy teorii i modelirovaniya protsessov izmel'cheniya pishchevogo syr'ya i kormov [Fundamentals of theory and modeling of grinding processes of food raw materials and feed]. – Alma-Ata: Gylym, 1992. – 244 p. [in Russian].
3. Spandiyarov E.S., Borankulova A.S., Andakulov S.K. Trekhparametricheskaya model' pshenichnoy krupy [Three-parameter model of wheat groats] // Innovative Technologies of Healthy Food Products, Their Quality and Safety: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. – Almaty, 29–30 November 2010. – P. 275-276. [in Russian].

4. Spandiyarov E.S., Dzhunisbekov T.M., Zhaishibekov G.Z. Izmel'chenie zerna pshenitsy s uchetom relaksatsionnykh svoystv [Grinding of wheat grain taking into account relaxation properties] // Mechanics and Modeling of Technological Processes. – 2010. – No. 2. – P. 304-308. [in Russian].
5. Spandiyarov E.S., Borankulova A.S., Soltybaeva B.E. Obobshchennoe uravnenie polzuchesti pshenichnoy krupy [Generalized creep equation of wheat groats] // Hranitelna nauka, tekhnika i tekhnologii 2011 [Food Science, Engineering and Technologies 2011]: Scientific Proceedings. – Plovdiv, Bulgaria, 14–15 October 2011. – Vol. LVIII. – Issue 3. – P. 355-358. [in Russian].
6. Machikhin Yu.A., Zurabishvili G.G. Tabletirovanie pishchevykh materialov [Pelletizing of food materials]. – Moscow: Food Industry Publishing House, 1978. – 135 p. [in Russian].
7. Spandiyarov E.S., Aityshev S.M., Borankulova A.S., Maliktaeva P., Sariev B.A. Obrabotka pishchevykh materialov mekhanicheskim davleniem [Processing of food materials by mechanical pressure]. – Taraz: Zhambyl Center for Scientific and Technical Information, 2004. – 35 p. [in Russian].
8. Spandiyarov E.S., Borankulova A.S., Umirbaeva Sh.Zh. Modelirovanie zerna pshenitsy pri szhatii [Modeling of wheat grain under compression] // ACHIEVEMENT OF HIGH SCHOOL – 2011: Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference. – Sofia, 17–25 November 2011. – Vol. 26. – Agriculture. – P. 52-55. [in Russian].
9. Azarov B.M., Aret V.R. Inzhenernaya reologiya pishchevykh proizvodstv [Engineering rheology of food production]. – Moscow: MTIPP, 1978. – 112 p. [in Russian].
10. Spandiyarov E.S., Dzhunisbekov T.M. Relaksatsionnye protsessy v zernovom syr'e [Relaxation processes in grain raw materials]. – Zhambyl: TsNTI, 1993. – 97 p. [in Russian].
11. Dzhunisbekov T.M., Kestelman V.N., Malinin N.I. Relaksatsiya napryazheniy v vyazkouprugikh materialakh [Stress relaxation in viscoelastic materials]. – Almaty: Gylym, 1998. – 308 p. [in Russian].
12. Erkebaev M.Zh. Sovremennye sposoby mekhanicheskoy obrabotki pishchevykh mass [Modern methods of mechanical processing of food masses]. – Almaty, 1998. – 140 p. [in Russian].
13. Erkebaev M.Zh., Kulazhanov T.K., Machikhin Yu.A., Medvedkov E.B. Reologiya pishchevykh produktov [Rheology of food products]. – Almaty, 2003. – 192 p. [in Russian].
14. Reometriya pishchevogo syr'ya i produktov [Rheometry of food raw materials and products]: handbook / ed. by Yu.A. Machikhin. – Moscow: Agropromizdat, 1987. – 271 p. [in Russian].

МРНТИ 65.59.05

А.К. Смагулова[1] – *основной автор*, ©
А.М. Таева[2], **А.Н. Есенгазиева**[3], **Г.К. Кузембаева**[4]

[2]Д-р техн. наук, профессор, [3]PhD, и.о.ассоц. профессора, [4]Канд. техн. наук, и.о. ассоц. профессора

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0003-2284-6907 [2]https://orcid.org/0000-0001-6663-4282 [3]https://orcid.org/0000-0003-2314-2995 [4]https://orcid.org/0000-0003-0558-9531*

[1,2,3,4]Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан

@ *[1]s.aiman76@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/PMAZ3144

ОЦЕНКА ПИЩЕВОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ РЫБНЫХ КОТЛЕТ С РАСТИТЕЛЬНОЙ ДОБАВКОЙ

Аннотация. Проведено экспериментальное исследование влияния растительных компонентов на качество и функционально-технологические свойства рыбных фаршевых изделий (котлет/паштета). Разработаны три рецептуры: контрольная (из рыбы) и опытные образцы с добавлением 20% и 30% брокколи. Для каждой рецептуры определяли физико-химические показатели, органолептические параметры, текстуру и пищевую ценность. Установлено, что введение 20% и 30% брокколи повышает содержание пищевых волокон и витамина С по сравнению с контрольным образцом. В опытном образце с 30% растительного компонента наблюдается снижение массовой доли жира на 12% и увеличение содержания растительного белка на 8% по сравнению с контролем, что свидетельствует о снижении энергетической плотности продукта и улучшении его диетических характеристик. Анализ водоудерживающей способности показал повышение данных показателей на 15-22% при добавлении растительного компонента, что указывает на более высокую устойчивость к выделению жидкости при термообработке. Аналогичная тенденция отмечена для водосвязывающей способности. Органолептическая оценка выявила наилучшие показатели вкуса, аромата и общей приемлемости у образца с 20% брокколи (4,3 балла из 5), тогда как образец с 30% брокколи был признан менее предпочтительным из-за специфического растительного привкуса (средний балл 3,8). Полученные данные подтверждают, что частичная замена рыбного фарша растительным ингредиентом (брокколи) способствует улучшению пищевой ценности, функционально-технологических свойств и формированию благоприятной текстуры рыбных котлет/паштета. Рекомендуется использовать уровень добавки брокколи не менее 20 %, чтобы достичь оптимального сочетания качества, питательной ценности и потребительских характеристик.

Ключевые слова: рыбные котлеты, рыбный паштет, брокколи, растительные добавки, текстура, водоудерживающая способность, пищевая ценность, аминокислотный состав, функционально-технологические свойства.

Смагулова, А.К. Оценка пищевой и технологической ценности рыбных котлет с растительной добавкой [Текст] / А.К. Смагулова, А.М. Таева, А.Н. Есенгазиева, Г.К. Кузембаева //Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №2(92). – С.128-136. https://doi.org/10.55956/PMAZ3144

Введение. Комбинированные рыбные изделия, такие как котлеты или паштеты, часто содержат не только рыбу, но и дополнительные ингредиенты, которые улучшают их качество, пищевую ценность и органолептические свойства [1].

Введение растительных компонентов в рыбные котлеты позволяет получить продукты с улучшенными диетическими и функциональными свойствами. Например, использование нетрадиционного растительного сырья обогащает фарш витаминами и минералами, а также повышает содержание сложных углеводов и пищевых волокон [2].

Растительные ингредиенты способны влиять на структуру и текстуру рыбных изделий. При введении растительных и белковых добавок изменяется водоудерживающая способность и формируется более плотная структура фарша [3].

Пищевая ценность комбинированных рыбных котлет возрастает за счёт дополнительного белка из растительных источников. Такие изделия обладают не только высоким содержанием белка, но и лучшим балансом аминокислот [4].

Исследования показывают, что частичная замена рыбного мяса текстурированным растительным белком (TVP) может улучшить некоторые текстурные параметры продукта без ухудшения органолептических свойств при умеренном уровне замещения (например, 5%) [5].

Помимо этого, современные исследования в области plant-based seafood alternatives показывают, что комбинирование растительных и морских белков помогает создавать продукты с устойчивой структурой и приемлемым вкусом, что особенно важно для удовлетворения потребительских предпочтений и функциональности продукта [6].

Комбинированные рыборастительные изделия имеют потенциал для создания новых рыночных продуктов, объединяя преимущества обоих типов сырья: высокую питательную ценность морской рыбы и функциональные вещества из растительных источников [7].

Кроме того, разработка комбинированных рецептур может способствовать созданию продуктов с более длительным сроком хранения и стабильной текстурой за счёт применения современных технологических приёмов, таких как объединение белка с функциональными добавками[8].

По данным ряда авторов, введение растительных белков и овощных добавок способствует улучшению водоудерживающей способности фарша и снижению потерь массы при термической обработке [3,9]. Одновременно возможно изменение текстуры и органолептических характеристик изделия, что требует экспериментального обоснования оптимального уровня замещения [10].

Брокколи является ценным источником витамина С, кальция и антиоксидантов [10]. Использование данного компонента в составе рыбных изделий позволяет повысить их биологическую ценность и функциональную направленность [11]. Исследования показывают, что комбинированные рыборастительные продукты могут обладать улучшенными диетическими свойствами при сохранении сбалансированного аминокислотного состава [12].

Таким образом, разработка рецептуры рыбных котлет с добавлением брокколи является актуальной задачей современной технологии общественного питания. Необходимость оценки влияния растительного

компонента на химический состав, функционально-технологические свойства и пищевую ценность обосновывает проведение настоящего исследования.

Условия и методы исследования. Объектом исследования являлись рыбные котлеты из филе судака:

- контрольный образец (без растительных добавок);
- опытный образец 1 с добавлением 20 % брокколи;
- опытный образец 2 с добавлением 30 % брокколи.

Рецептуры сформированы с сохранением общей массы полуфабриката 144 г. Брокколи предварительно бланшировали в течение 2-3 минут, охлаждали и измельчали.

Технология приготовления.

Филе судака без кожи и костей измельчали через мясорубку вместе с замоченным в молоке пшеничным хлебом. В опытных образцах добавляли измельчённую брокколи в количестве 20% и 30% от массы рыбы.

Фарш тщательно перемешивали и выбивали до получения однородной массы. Формовали котлеты, панировали в сухарях. Обжаривание проводили 8-10 минут с двух сторон, затем доводили до готовности в жарочном шкафу в течение 5 минут.

Условия проведения испытаний. Испытания проводились в научно-исследовательской лаборатории оценки качества и безопасности продовольственных продуктов. Условия проведения испытаний: температура воздуха – 21°С; относительная влажность – 64 %; сроки проведения анализа – 04.11.2025 – 12.11.2025.

Методы исследования. Определение показателей проводили по действующим нормативным документам:

- массовая доля белка – по ГОСТ 25011-2017;
- массовая доля жира – по ГОСТ 23042-2015;
- массовая доля углеводов – перманганатометрическим методом;
- водоудерживающая способность (ВУС) – методом прессования;
- водосвязывающая способность (ВСС) – методом Грау-Хамма;
- витамин С – по ГОСТ 31483-2012;
- минеральные элементы (Fe, Na, Ca) – по ГОСТ 32343-2013;
- аминокислотный состав – по ГОСТ Р 55569-2013.

Каждый анализ выполнялся не менее чем в трёх повторностях. Результаты представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения.

Результаты исследований. Результаты определения физико-химических показателей контрольного и опытных образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Физико-химические показатели рыбных котлет

Показатель	Контроль	20% брокколи	30% брокколи
Массовая доля белка, %	18,02 ± 0,08	16,32 ± 0,06	15,45 ± 0,08
Массовая доля жира, %	10,10 ± 0,02	8,89 ± 0,02	8,55 ± 0,02
Массовая доля углеводов, %	4,51 ± 0,02	3,62 ± 0,02	3,84 ± 0,02
Водоудерживающая способность (ВУС), %	65,94 ± 1,05	66,78 ± 1,12	75,14 ± 1,01
Водосвязывающая способность (ВСС), %	72,80 ± 0,50	65,28 ± 0,50	61,81 ± 0,50

Как видно из таблицы 1, при увеличении доли брокколи наблюдается снижение массовой доли белка и жира. Это связано с частичной заменой рыбного сырья растительным компонентом. При этом массовая доля жира снизилась на 15,3% в образце с 30% брокколи по сравнению с контролем.

Наиболее выраженные изменения отмечены по показателю водоудерживающей способности. В образце с 30% брокколи ВУС увеличилась до 75,14%, что на 9,2% выше по сравнению с контрольным образцом (табл. 1). Это свидетельствует о способности растительного компонента удерживать влагу в структуре фарша.

Витаминный состав. Содержание витамина С представлено в таблице 2.

Таблица 2

Содержание витамина С

Образец	Витамин С, мг/100 г
Контроль	0,72 ± 0,05
20% брокколи	16,21 ± 0,85
30% брокколи	38,27 ± 1,12

Из данных таблицы 2 видно, что добавление брокколи значительно увеличивает содержание витамина С. В образце с 30% брокколи содержание витамина С увеличилось более чем в 50 раз по сравнению с контрольным образцом.

Минеральный состав. Результаты анализа минеральных элементов представлены в таблице 3.

Таблица 3

Минеральный состав рыбных котлет

Показатель	Контроль	20% брокколи	30% брокколи
Fe, мг/100 г	0,58 ± 0,02	0,60 ± 0,02	0,57 ± 0,02
Na, мг/100 г	81,75 ± 0,65	57,59 ± 1,15	61,55 ± 1,02
Ca, мг/100 г	23,85 ± 0,12	27,41 ± 0,10	31,32 ± 0,08

Как следует из таблицы 3, при увеличении доли брокколи повышается содержание кальция. В образце с 30% брокколи его количество увеличилось на 31,3% по сравнению с контролем. При этом содержание натрия снизилось, что является положительным фактором с точки зрения диетического питания.

Аминокислотный состав. Аминокислотный профиль исследован для образца с 20% брокколи. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4

Аминокислотный состав (20% брокколи), %

Аминокислота	Содержание, %
1	2
Аргинин	2,049 ± 0,820
Лизин	1,756 ± 0,597
Тирозин	0,585 ± 0,176
Фенилаланин	1,171 ± 0,351
Гистидин	0,644 ± 0,322
Лейцин + изолейцин	1,522 ± 0,396
Метионин	0,176 ± 0,060

Продолжение таблицы 4

1	2
Валин	1,288 ± 0,515
Пролин	1,171 ± 0,304
Треонин	0,937 ± 0,375
Серин	1,171 ± 0,304
Аланин	1,054 ± 0,274
Глицин	0,995 ± 0,338

Данные таблицы 4 показывают наличие всех основных незаменимых аминокислот. Наибольшее содержание отмечено для аргинина и лизина, что свидетельствует о высокой биологической ценности белка.

Обсуждение научных результатов. Полученные результаты свидетельствуют о выраженном влиянии растительного компонента на химический состав и функционально-технологические свойства рыбных котлет.

Снижение массовой доли белка при увеличении содержания брокколи (табл. 1) объясняется частичной заменой рыбного сырья растительным ингредиентом, который содержит меньше белка по сравнению с мышечной тканью рыбы. Аналогичная тенденция описана в работах по разработке комбинированных рыборастительных изделий, где уменьшение доли рыбного сырья приводит к снижению общего содержания белка, но при этом повышается функциональная ценность продукта за счёт других компонентов.

Снижение массовой доли жира в опытных образцах (табл. 1) является положительным фактором с точки зрения диетического питания. Уменьшение жира на 15,3% при добавлении 30% брокколи позволяет отнести продукт к категории изделий с пониженной энергетической ценностью. В исследованиях по комбинированным фаршевым продуктам отмечается, что введение овощных компонентов способствует снижению калорийности за счёт уменьшения доли липидов.

Наиболее существенные изменения отмечены по показателю водоудерживающей способности. Повышение ВУС до 75,14% в образце с 30% брокколи (табл. 1) связано с наличием пищевых волокон и структурных полисахаридов растительного происхождения. Растительные волокна обладают выраженной способностью связывать воду, что стабилизирует структуру фарша и уменьшает потери массы при термообработке. Подобный эффект описан в исследованиях, посвящённых применению растительных белков и волокон в рыбных фаршевых изделиях.

При этом водосвязывающая способность (ВСС) несколько снижалась с увеличением доли брокколи (табл. 1). Это может быть связано с уменьшением доли миофибриллярных белков, которые играют ключевую роль в формировании белкового геля. Таким образом, увеличение растительного компонента усиливает влагоудержание, но одновременно ослабляет белковую сетку.

Особое значение имеет увеличение содержания витамина С (табл. 2). В образце с 30% брокколи концентрация витамина С увеличилась более чем в 50 раз по сравнению с контрольным образцом. Это подтверждает целесообразность использования овощного сырья для функционального обогащения рыбных продуктов. Подобные результаты приводятся в исследованиях по разработке обогащённых фаршевых изделий.

Минеральный состав также изменился (табл. 3). Увеличение содержания кальция связано с его высоким содержанием в брокколи. Одновременно снижение натрия в опытных образцах является положительным фактором для потребителей, придерживающихся низкосолевой диеты.

Анализ аминокислотного состава (табл. 4) показал наличие всех незаменимых аминокислот. Несмотря на снижение общей доли белка, биологическая ценность продукта сохраняется благодаря сбалансированному аминокислотному профилю. Высокое содержание аргинина и лизина подтверждает полноценность белка комбинированного продукта.

Сравнительный анализ образцов показывает, что при добавлении 30% брокколи наблюдается максимальное улучшение по витаминному и минеральному составу и влагоудерживающей способности. Однако органолептические показатели, по данным дегустации, были более высокими у образца с 20% брокколи. Это свидетельствует о необходимости компромисса между функциональностью и потребительскими характеристиками.

Таким образом, уровень добавки 20% можно считать технологически и сенсорно оптимальным, тогда как 30% обеспечивает максимальное функциональное обогащение продукта.

Заключение. В результате проведённого исследования установлено влияние растительного компонента (брокколи) на химический состав, функционально-технологические свойства и пищевую ценность рыбных котлет.

Частичная замена рыбного сырья брокколи в количестве 20% и 30% приводит к снижению массовой доли жира и общей энергетической ценности продукта. Одновременно происходит увеличение содержания витамина С и кальция, что свидетельствует о повышении функциональной направленности разработанных изделий.

Добавление брокколи способствует улучшению водоудерживающей способности фарша, что положительно влияет на технологические свойства и уменьшает потери массы при термической обработке. Однако увеличение доли растительного компонента сопровождается некоторым снижением белка и ослаблением белковой структуры.

Аминокислотный анализ показал сохранение сбалансированного профиля незаменимых аминокислот, что подтверждает высокую биологическую ценность комбинированного продукта.

Сравнительный анализ показал, что образец с добавлением 20% брокколи обладает оптимальным сочетанием технологических, пищевых и органолептических характеристик. Образец с 30% брокколи обеспечивает максимальное обогащение витаминами и минералами, но уступает по вкусовым показателям.

Таким образом, введение брокколи в рецептуру рыбных котлет является технологически обоснованным и перспективным направлением для создания комбинированных функциональных продуктов общественного питания с улучшенными потребительскими и диетическими свойствами.

Список литературы

1. Наумова Н.Л. Характеристика рыбных котлет с введением растительных компонентов [Текст] / Н.Л. Наумова // Научный журнал. – 2018. – №3(70). – С. 18-24.

2. Абжанова Ш.А. Использование нетрадиционного растительного сырья в технологии рыбных котлет [Текст] / Ш.А. Абжанова // Вестник АТУ. – 2022. – №3. – С. 95-102.
3. Oh J., Park M.K., Kim B.R., Kwak H.S. Effectiveness of textured vegetable protein incorporation for partial fish meat substitution in fish cakes // International Journal of Food Science and Technology. – 2024. – Vol. 59. – No. 10. – P. 7080-7091.
4. Атамбаева Ж.М., Нургазезова А.Н., Окусханова Э.К. и др. Пищевая ценность рыбных котлет с растительными компонентами [Текст] / Ж.М. Атамбаева, А.Н. Нургазезова, Э.К. Окусханова [и др.] // Молодой ученый. – 2017. – № 6.1 (140.1). – С. 6-9.
5. Васюкова А.Т. Функциональные рыбные изделия с топинамбуром [Текст] / А.Т. Васюкова // Вестник ВГУИТ. – 2022. – Т. 84. – №2(92). – С. 62-70.
6. Abotsi E.E., Panagodage Y., English M. Plant-based seafood alternatives: Current insights on the nutrition, protein-flavour interactions, and processing // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2024. – Vol. 9. – P. 100860. DOI: 10.1016/j.crfs.2024.100860.
7. Fish Cakes — an overview [Электронный ресурс] // ScienceDirect. – Режим доступа: https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/fish-cakes.
8. Kim Y.Y., Bashir K.M.I., Kang S., et al. Development and Quality Enhancement of Fried Fish Cake Prototype // Gels. – 2024. – Vol. 10, No. 11. – Art. 740.
9. Baune M.C., et al. Textured vegetable proteins (TVP): Future foods standing on their merits as meat alternatives // Future Foods. – 2022. – Vol. 6. – Art. 100181. – DOI: 10.1016/j.fufo.2022.100181.
10. Kim Y.Y., Kang S. Development and quality enhancement of fried fish cake prototype with Transglutaminase, Trehalose, and Herbal Oil for Room Temperature Distribution // Gels. – 2024. – Vol. 10, No. 11. – Art. 740. – DOI: 10.3390/gels10110740.
11. USDA. FoodData Central: Broccoli, raw [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: https://fdc.nal.usda.gov/.
12. Титов Е.И. Комбинированные продукты питания функционального назначения с белково-жировыми композитами [Текст] / Е.И. Титов, С.К. Апраксина, Л.Ф. Митасева, М.В. Маркина, В.В. Колпакова, С.А. Рыжов // Пищевая промышленность. – 2004. – № 6.

Материал поступил в редакцию 17.02.25, принят 30.04.26.

А.К. Смагулова[1], А.М. Таева[1], А.Н. Есенгазиева[1], Г.К. Кузембаева[1]

[1]Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан

ӨСІМДІК ҚОСПАСЫ БАР БАЛЫҚ КОТЛЕТТЕРІНІҢ ТАҒАМДЫҚ ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ҚҰНДЫЛЫҒЫН БАҒАЛАУ

Аңдатпа. Өсімдік компоненттерінің балық фаршынан дайындалған өнімдердің (котлет/паштет) сапасы мен функционалдық-технологиялық қасиеттеріне әсері эксперименттік түрде зерттелді. Үш рецептура әзірленді: бақылау үлгісі (таза балықтан), 20% брокколи қосылған тәжірибелік үлгі және 30% брокколи қосылған тәжірибелік үлгі. Әрбір үлгі үшін физика-химиялық көрсеткіштер, органолептикалық сипаттамалар, текстура және тағамдық құндылық анықталды. 20% және 30% брокколи енгізу бақылау үлгісімен салыстырғанда тағамдық талшықтар мен С дәруменінің мөлшерін арттыратыны анықталды. 30% өсімдік компоненті бар үлгіде майдың массалық үлесі 12% төмендеп, өсімдік текті ақуыз мөлшері 8% артқаны байқалды. Бұл өнімнің энергетикалық құндылығының төмендеуін және диеталық

сипаттамасының жақсаруын көрсетеді. Функционалдық-технологиялық қасиеттер су ұстау қабілеті (СҰҚ) және су байланыстыру қабілеті (СБҚ) көрсеткіштері бойынша бағаланды. 20% брокколи қосқанда СҰҚ 15%, ал 30% қосқанда 22% артты. Бұл термиялық өңдеу кезінде ылғалдың бөлінуіне тұрақтылықтың жоғарылағанын көрсетеді. Осындай үрдіс СБҚ көрсеткішінде де байқалды. Органолептикалық бағалау нәтижелері бойынша 20% брокколи қосылған үлгі дәмі, хош иісі және жалпы қабылдануы бойынша ең жоғары балл алды (орташа балл 5-тен 4,3). Ал 30% брокколи қосылған үлгі өсімдік дәмінің айқын болуына байланысты төменірек бағаланды (орташа балл 3,8). Алынған нәтижелер балық фаршын брокколи сияқты өсімдік ингредиентімен ішінара алмастыру өнімнің тағамдық құндылығын, функционалдық-технологиялық қасиеттерін және текстурасын жақсартатынын көрсетті. Өнім сапасы мен тұтынушылық сипаттамаларының оңтайлы үйлесіміне жету үшін брокколи мөлшерін кемінде 20% деңгейінде қолдану ұсынылады.

Тірек сөздер: балық котлеттері, балық паштеті, брокколи, өсімдік қоспалары, текстура, су ұстау қабілеті, тағамдық құндылық, аминқышқылдық құрам, функционалдық-технологиялық қасиеттер.

A.K. Smagulova[1], A.M. Tayeva[1], A.N. Yessengaziyeva[1], G.K. Kuzembayeva[1]

[1]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

ASSESSMENT OF THE NUTRITIONAL AND TECHNOLOGICAL VALUE OF FISH CUTLETS WITH A PLANT ADDITIVE

Abstract. An experimental study was conducted to evaluate the effect of plant components on the quality and functional-technological properties of minced fish products (cutlets/pâté). Three formulations were developed: a control sample (fish only), an experimental sample with 20% broccoli, and an experimental sample with 30% broccoli. For each formulation, physicochemical parameters, sensory characteristics, texture, and nutritional value were determined. It was found that the incorporation of 20% and 30% broccoli increased the content of dietary fiber and vitamin C compared to the control sample. The sample containing 30% plant component showed a 12% reduction in fat content and an 8% increase in plant protein compared to the control, indicating a decrease in energy density and improved dietary characteristics. Functional and technological properties were evaluated through water-holding capacity (WHC) and water-binding capacity (WBC). The addition of 20% broccoli increased WHC by 15%, while 30% broccoli resulted in a 22% increase compared to the control sample. This indicates improved resistance to moisture loss during heat treatment. A similar trend was observed for WBC. Sensory evaluation showed that the sample with 20% broccoli received the highest scores for taste, aroma, and overall acceptability (average score 4.3 out of 5). The 30% broccoli sample was less preferred due to a pronounced vegetable aftertaste (average score 3.8). The results confirm that partial replacement of minced fish with a plant ingredient such as broccoli improves nutritional value, functional-technological properties, and texture formation of fish cutlets/pâté. It is recommended to use at least 20% broccoli to achieve an optimal balance between quality, nutritional value, and consumer acceptance.

Keywords: fish cutlets, fish pâté, broccoli, plant additives, texture, water-holding capacity, nutritional value, amino acid composition, functional-technological properties.

References

1. Naumova N.L. Kharakteristika rybnykh kotlet s vvedeniem rastitel'nykh komponentov [Characteristics of fish cutlets with the addition of plant components] // Scientific Journal. – 2018. – No. 3(70). – P. 18-24. [in Russian].

2. Abzhanova Sh.A. Ispol'zovanie netraditsionnogo rastitel'nogo syr'ya v tekhnologii rybnykh kotlet [Use of non-traditional plant raw materials in fish cutlet technology] // Bulletin of Almaty Technological University. – 2022. – No. 3. – P. 95-102. [in Russian].
3. Oh J., Park M.K., Kim B.R., Kwak H.S. Effectiveness of textured vegetable protein incorporation for partial fish meat substitution in fish cakes // International Journal of Food Science and Technology. – 2024. – Vol. 59. – No. 10. – P. 7080-7091.
4. Atambaeva Zh.M., Nurgazezova A.N., Okuskhanova E.K., et al. Pishchevaya tsennost' rybnykh kotlet s rastitel'nymi komponentami [Nutritional value of fish cutlets with plant components] // Young Scientist. – 2017. – No. 6.1 (140.1). – P. 6-9. [in Russian].
5. Vasyukova A.T. Funktsional'nye rybnye izdeliya s topinamburom [Functional fish products with Jerusalem artichoke] // Proceedings of Voronezh State University of Engineering Technologies. – 2022. – Vol. 84. – No. 2(92). – P. 62-70. [in Russian].
6. Abotsi E.E., Panagodage Y., English M. Plant-based seafood alternatives: Current insights on the nutrition, protein-flavour interactions, and processing // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2024. – Vol. 9. – P. 100860. DOI: 10.1016/j.crfs.2024.100860.
7. Fish Cakes — an overview [Electronic resource]. – Access mode: https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/fish-cakes.
8. Kim Y.Y., Bashir K.M.I., Kang S., et al. Development and Quality Enhancement of Fried Fish Cake Prototype // Gels. – 2024. – Vol. 10. – No. 11. – Art. 740.
9. Baune M.C., et al. Textured vegetable proteins (TVP): Future foods standing on their merits as meat alternatives // Future Foods. – 2022. – Vol. 6. – Art. 100181. DOI: 10.1016/j.fufo.2022.100181.
10. Kim Y.Y., Kang S. Development and quality enhancement of fried fish cake prototype with Transglutaminase, Trehalose, and Herbal Oil for Room Temperature Distribution // Gels. – 2024. – Vol. 10. – No. 11. – Art. 740. DOI: 10.3390/gels10110740.
11. USDA. FoodData Central: Broccoli, raw [Electronic resource]. – 2023. – Access mode: https://fdc.nal.usda.gov/.
12. Titov E.I., Apraksina S.K., Mitaseva L.F., Markina M.V., Kolpakova V.V., Ryzhov S.A. Kombinirovannye produkty pitaniya funktsional'nogo naznacheniya s belkovo-zhirovymi kompozitami [Combined functional food products with protein-fat composites] // Food Industry. – 2004. – No. 6. [in Russian].

ҒТАМР 65.09.03

А.А. Баядилова[1] – *негізгі автор,*
Г.Б. Абдилова[2], К.С. Бекбаев[3], К.С. Байчиева[4], А.Б. Арын[5]

[1,4,5]Докторант, [2,3]Техн.ғылым. канд., қауымдас. профессор

ORCID *[1]https://orcid.org/0009-0000-9805-5875 [2]https://orcid.org/0000-0002-6647-6314 [3]https://orcid.org/0000-0001-9591-0370 [4]https://orcid.org/0009-0001-8691-4625 [5]https://orcid.org/0009-0006-9436-9520*

[1,2,3,4,5]Шәкәрім университеті,
Семей, Қазақстан

@ *[1]assylzhanai@gmail.com*

https://doi.org/10.55956/GDRW6729

МОЛЕКУЛЯРЛЫҚ СУТЕКТІҢ ЖҮЗІМ ҚАБЫҒЫНАН БИОАКТИВТІ ЗАТТАРДЫҢ БӨЛІНУІНЕ ӘСЕРІ

Аңдатпа. Берілген жұмыста жүзім қабығынан құнды қосылыстарды бөліп алу тиімділігі төрт түрлі еріткішті қолдану арқылы зерттелінді: бақылау үлгісі, сутекпен қанықтырылған, қышқылдандырылған, сондай-ақ қышқылдандырылған және сутекпен қанықтырылған. Үлгілерде жалпы полифенолдар (TPC), флавоноидтар (TFC), антоциандар (TMA) мөлшері және DPPH, ABTS және FRAP әдістерімен антиоксиданттық белсенділік анықталды. Сулы экстракттілерде зерттелген еріткіштер арасында елеулі айырмашылықтар байқалмады. Этанолды жүйелерде қышқылдандыру мен сутекпен қанықтыру үйлесімі TPC және TMA көрсеткіштерінің, сондай-ақ DPPH және ABTS әдістері бойынша антиоксиданттық белсенділіктің айтарлықтай артуына әкелді. Бұл ретте FRAP көрсеткіштері іс жүзінде өзгеріссіз қалды, бұл молекулярлық сутектің әсерінің селективті сипатын көрсетеді: ол полифенолдар мен антоциандардың шығымын арттырады, бірақ FRAP әдісімен бағаланатын тотықсыздандырғыш қабілетіне әсер етпейді. Алынған нәтижелер жүзім қалдықтарынан құнды биологиялық белсенді қосылыстар шығымын бағытты түрде арттыру үшін сутекпен қанықтырылған қышқылдандырылған этанолды еріткіштерді қолданудың болашағы бар екенін растайды.

Тірек сөздер: жүзім қабығы, полифенолдар, сутек, экстракция, антиоксиданттық белсенділік.

Баядилова, А.А. Молекулярлық сутектің жүзім қабығынан биоактивті заттардың бөлінуіне әсері [Мәтін] / А.А. Баядилова, Г.Б. Абдилова, К.С. Бекбаев, К.С. Байчиева, А.Б. Арын // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №2(92). – Б.137-146. https://doi.org/10.55956/GDRW6729

Кіріспе. Шарап өндірісінің қосалқы өнімдері,соның ішінде жүзім сығындылары, жоғары қосылған құн әлеуеті бар бағалы ресурс болып табылады, бұл ең алдымен, полифенолдарға – фенол қышқылдарына, флавонолдарғы және антоциандарға байланысты [1,2].

Жүзім сығындысындағы полифенолдардың сандық және сапалық құрамы жүзім сортына, өсіру аймағына, өсіру жағдайларына және шарап өндірісінің технологиялық ерекшеліктеріне байланысты айтарлықтай өзгереді [1,3]. Бұл қосылыстардың көпшілігі жүзімнің қабығы мен тұқымында

шоғырланған [4] және екі негізгі топқа бөлінеді: флавоноидтарға (антоциандар, флаван-3-олдар, флавондар, флавонолдар) және флавоноидты емес қосылыстарға (фенол қышқылдары, стилбендер,таннидер,кумариндер) [5,6]. Бұл полифенолдар айқын антиоксидантты қасиеттерге (бос радикалдарды бейтараптандыру және тотығу стрессін азайту), антимикробтық (бактерияларға және кейбір саңырауқұлақтарға қарсы әсер) және қабынуға қарсы (қабыну процестерін басу) әсерге ие [1,2,7], бұл оларды әр түрлі қолдану салаларында перспективті етеді.

Осы қасиеттерінің арқасында жүзім сығындысының полифенолдары тамақ, косметика және фармацевтика салалары үшін қызығушылық тудырады. Оларды іс жүзінде пайдалану және биологиялық белсенділігін сақтай отырып, жоғары сапалы экстрактілер алу үшін экстракция процестерін оңтайландыру қажет. Жүзім қалдықтарын қайта өңдеуге тартудың тиімділігі экстракциялық тәсілді және процесс режимдерін таңдаумен айқындалады [8]. Еріткіштер мен энергия шығындарының уыттылығын төмендетуге бағытталған «жасыл» экстракциялық технологиялардың (жоғары критикалық CO_2 – экстракция, ультрадыбыстық, микротолқынды және т.б.) белсенді дамуына қарамастан, олардың көпшілігі шектеулі селективтілікпен, экстракцияланатын қосылыстардың жеткіліксіз тұрақтылығымен сипатталады немесе ұзақ уақыт өңдеуді талап етеді [9]. Бұл биологиялық белсенді компоненттердің шығуы мен сақталуын арттыруға бағытталған баламалы тәсілдерді іздеу қажеттілігін негіздейді.

Соңғы жылдары сутекпен қанықтырылған еріткіштер қолданатын экстракциялау жүйелері зерттеушілердің қызығушылығын тудыруда. Молекулярлық сутек (H_2) жоғары диффузиялық қабілеті және антиоксиданттық әлеуеті бар қалпына келтіру қосылыстарына жатады. Оның ерігіштігі сумен салыстырғанда органикалық еріткіштерде жоғары, ал молекуласының кіші мөлшері мен липофильділігі өсімдік шикізатының жасушалық құрылымдарымен әрекеттесуге ықпал етеді [10,11]. Сутекпен қанықтырылған еріткіштердің биологиялық белсенді қосылыстарды экстракциялаудағы тиімділігі бірнеше зерттеулерде расталғанымен, сутектің қышқылдандырылған экстракция орталарымен үйлескендегі әсері жөніндегі мәліметтер әлі де шектеулі [10].

Осыған байланысты, бұл зерттеу жүзім қабығынан биологиялық белсенді қосылыстарды экстракциялау тиімділігіне молекулярлық сутек пен еріткіштерді қышқылдандырудың әсерін бағалауға бағытталған.

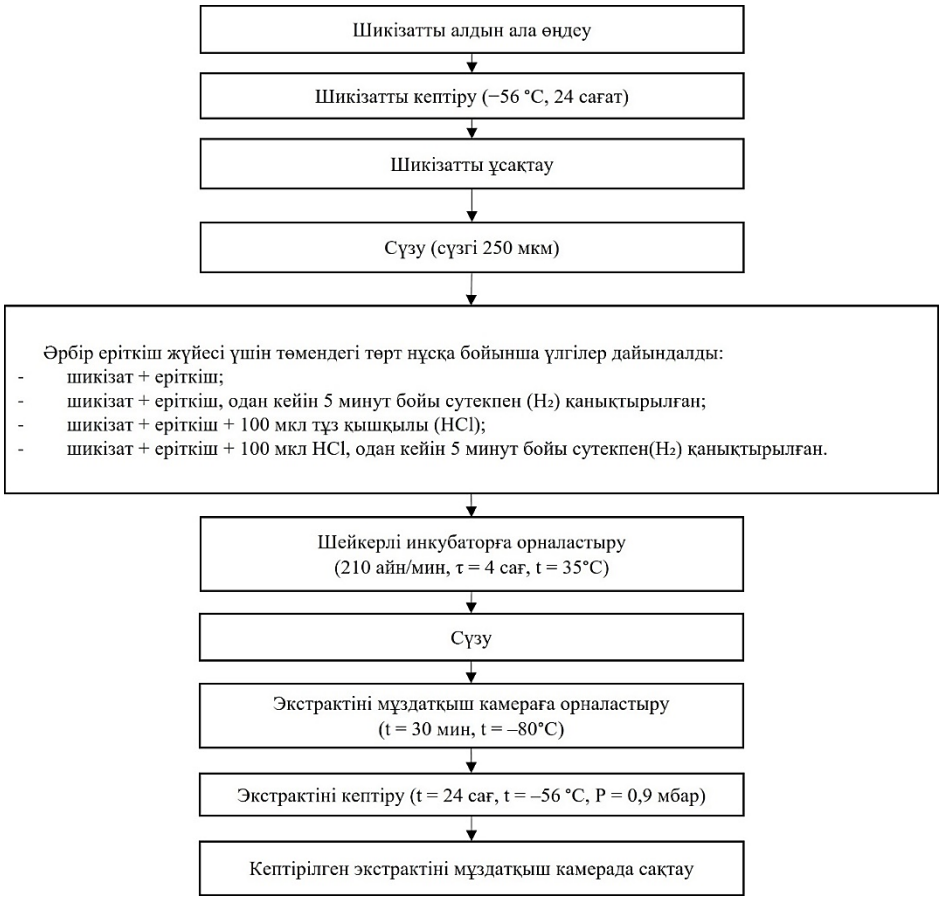
Зерттеу шарттары мен әдістері. Зерттеу объектісі ретінде механикалық тәсілмен дәндері мен сабақтарынан бөлініп алынған жүзім қабығы пайдаланылды. Үлгілер лиофильді кептіруден (Martin Christ Alpha 1-2 LD) өткізілді, содан кейін ұнтақ тәрізді күйге дейін ұсақталды және экстракция жүргізілгенге дейін − 20°C температурада сақталды.

Экстракция. Қышқылдандырылған еріткіштер (су, этанол) 0,1%-дық HCl ерітіндісін қосу арқылы алынды. Сутекпен қанықтырылған еріткіштер молекулярлық сутекпен (тазалығы 99,99%) 5 минут бойы барботаждау арқылы дайындалды [8]. Әрбір үлгіні зерттеу үш тәуелсіз қайталауда жүзеге асырылды (n = 3).

Экстракция мацерация әдісімен жүргізілді: 1 г жүзім қабығы ұнтағы тиісті еріткіштің 20 мл-мен (1:20 қатынасы, г/мл) 1-суретте көрсетілген схема бойынша герметикалық жабылған шыны флакондарда араластырылды. Үлгілер 35°C температурада тұрақты араластыру (210 айн/мин) арқылы 4 сағат бойы инкубацияланды. Экстракция аяқталғаннан кейін ерітінділер қағаз

сүзгі арқылы сүзілді. Этанолды еріткіштер вакуумды кептіру шкафында 35°C температурада, сулы экстрактілер лиофильді кептіргіште кептірілді. Құрғақ экстрактілер талдау жүргізілгенге дейін − 80°C температурада сақталды.

Биобелсенді қосылыстардың мөлшерін және антиоксиданттық белсенділікті талдау. Жалпы фенолды қосылыстардың (TPC), флавоноидтардың (TFC) және моноантоциандардың (TMA) мөлшері, сондай-ақ экстрактілердің антиоксиданттық белсенділігі (DPPH, ABTS және FRAP) әдебиетте сипатталған стандартты спектрофотометриялық әдістер қолданылу арқылы анықталды [10,11].



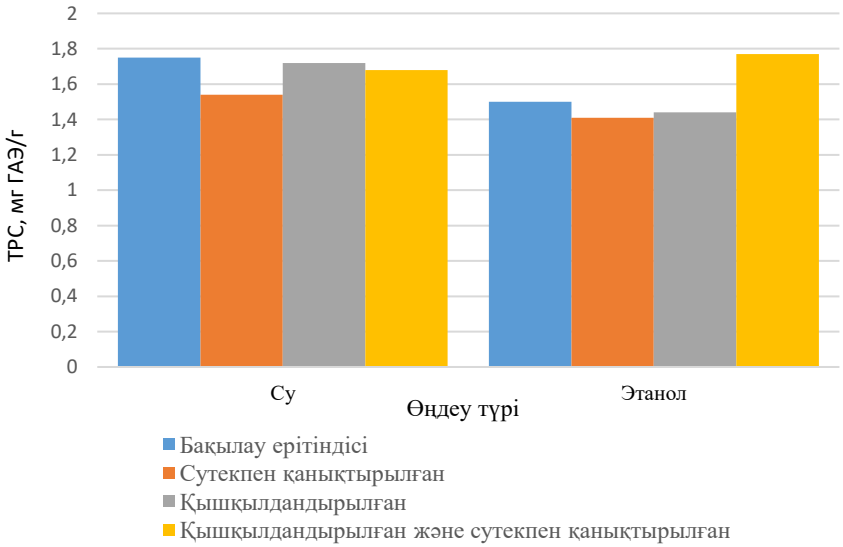
Сурет 1. Өңдеу кезеңдерінің тізбегі

Жұмыста Фолин – Чокальтеу реактиві, галл қышқылы, кверцетин, тролокс (Trolox), DPPH (2,2′-дифенил-1-пикрилгидразил), ABTS (2,2′-азино-бис(3-этилбензтиазолин-6-сульфон қышқылы)), калий персульфаты, натрий карбонаты, натрий ацетаты, ацетонитрил, этанол, мұзды сірке қышқылы, ортофосфор қышқылы, тұз қышқылы (0,1 M HCl) пайдаланылды. Барлық реактивтер Sigma (АҚШ) және Merck (Германия) компанияларынан сатып алынды.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Жүргізілген эксперименттер еріткіш түрінің, қышқылдандыру мен молекулярлық сутекпен қанықтырудың жүзім қабығынан алынған экстрактілердегі фенолды

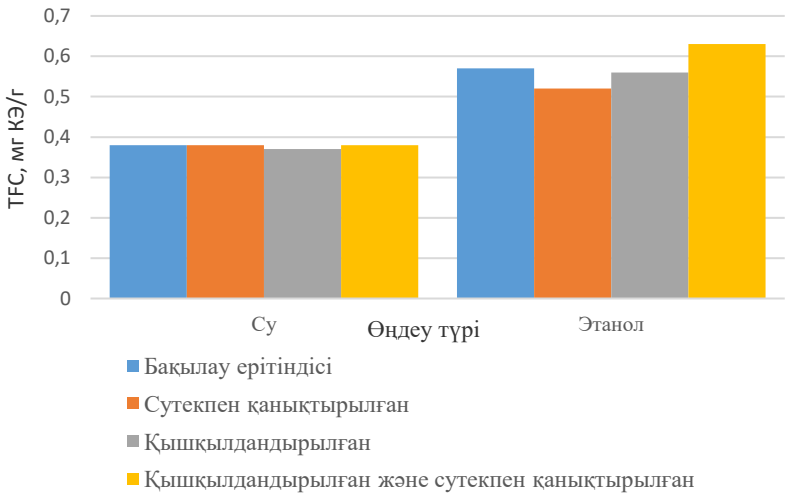
қосылыстардың, флавоноидтардың, антоциандардың шығымына және антиоксиданттық белсенділікке айтарлықтай әсер ететінін көрсетті.

Фенолды қосылыстардың жалпы мөлшері (TPC). Сулы экстрактілерде өңдеу нұсқалары арасында TPC бойынша елеулі айырмашылықтар байқалмады. Этанолдық жүйелерде жеке алғанда қышқылдандыру да, сутекпен қанықтыру да таза этанолмен салыстырғанда көрсеткіштердің артуына әкелмеді. TPC көрсеткіштерінің максималды мәндері тек қышқылдандыру мен H_2-қанықтырудың бірлескен әсері кезінде алынды, бұл көрсеткіштер барлық басқа нұсқалардың көрсеткіштерінен жоғары болды (2-сурет). Қышқылды орта полифенолдардың жасушалық қабырғадан босатылуына ықпал етеді, ал молекулярлық сутек экстракция барысында олардың тотығу деградациясының алдын алады. Ұқсас нәтижелер аюқұлақ (Primula veris L.) гүлдерінен жасалған экстракцияда да байқалды; бұл зерттеуде еріткіштерге сутекті қосу фенолды қосылыстардың мөлшерін едәуір жоғарылатқан [11]. Сутекпен қанықтырылған еріткіштер басқа зерттеулерде де әртүрлі өсімдік қалдықтары мен қабықтардан фенолды қосылыстарды тиімді түрде бөліп алған [12].



Сурет 2. Экстрактідегі фенолдардың жалпы мөлшері

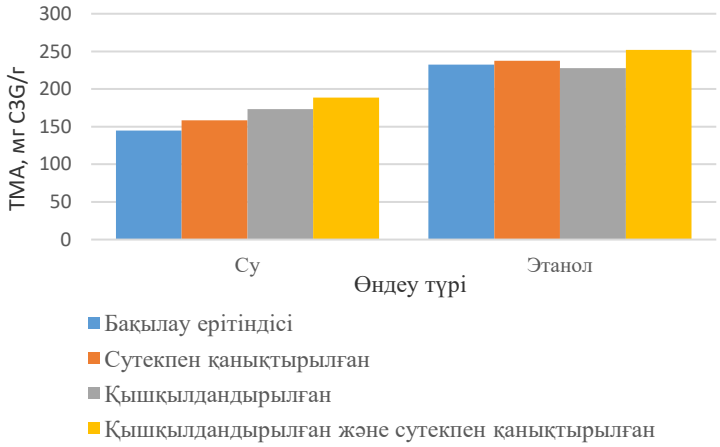
Флавоноидтардың жалпы мөлшері (TFC). Сулы экстрактілер еріткіштің кез келген модификациясына іс жүзінде сезімтал емес болып шықты. Этанолды жүйелерде көрініс басқаша болды: сутекпен қанықтыру бақылаумен салыстырғанда TFC көрсеткішінің төмендеуіне әкелсе, қышқылдандырудың өздігінен нәтижеге өзгеріс енгізбеді. Тек екі фактордың үйлесімі ғана флавоноидтардың айтарлықтай ең жоғары шығымын қамтамасыз етті (3-сурет). Қышқылды орта флавоноидтардың ерігіштігі мен тұрақтылығын арттырады, ал молекулярлық сутек оларды тотығу мен полимерленуден қорғайды. Ұқсас әсер сыртқы гүл (Primula veris L.) бойынша жүргізілген жұмыста байқалған [11].



Сурет 3. Экстрактідегі флавоноидтардың жалпы мөлшері

Моноантоциандардың жалпы мөлшері (ТМА). Қышқылдандыру сулы экстрактілерде ТМА шығымын айтарлықтай арттырды, ал сутектің қосылуы қосымша өсім берді — ең жоғары мәндер дәл қышқылдандырылған және сутекпен қанықтырылған сулы үлгілерде тіркелді. Этанолды экстрактілерде нұсқалардың көпшілігі жақын нәтижелер көрсетті, тек қышқылдандыру мен сутектің үйлесімі ғана H_2 қосылмаған қышқылдандырылған этанолдың көрсеткіштерінен асып түсті (4-сурет).

Қышқылдандыру антоциандарды тұрақтандырады және олардың ерігіштігін арттырады, ал молекулярлық сутек олардың тотығу деградациясының алдын алады. Этанолда бұл әсер ортаның полярлығы төмендеуіне байланысты баяу байқалады. Ұқсас заңдылықтар әртүрлі өсімдік қалдықтарына қатысты да [13] сипатталған.

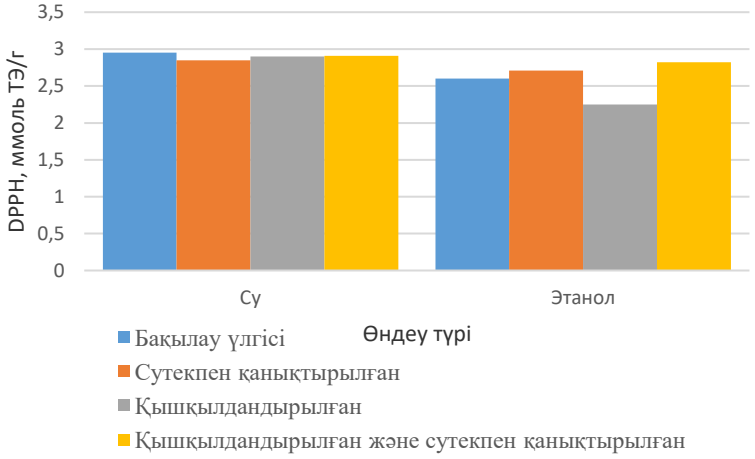


Сурет 4. Моноантоциандардың жалпы мөлшері (ТМА)

Антиоксиданттық белсенділік (DPPH және ABTS радикалдарын байланыстыру қабілеті). DPPH әдісі бойынша сулы экстрактілер этанолды экстрактілермен салыстырғанда жоғары көрсеткіштер көрсетті. Бұл ретте

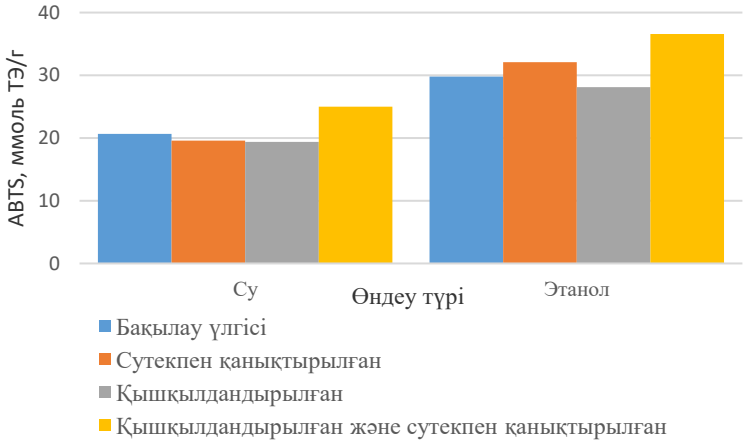
сулы экстрактілерде өңдеу нұсқалары арасындағы айырмашылықтар минималды болды.

Этанолды экстрактілерде жеке алғанда сутекпен қанықтыру немесе қышқылдандыру таза этанолмен салыстырғанда DPPH-белсенділігінің артуына әкелмеді. Алайда қышқылдандыру мен сутекпен қанықтырудың үйлесімі этанолды үлгілер арасында ең жоғары мәндерді қамтамасыз етіп, H_2 қосылмаған қышқылдандырылған этанолдың көрсеткішінен жоғары болды (5-сурет).



Сурет 5. Антиоксиданттық белсенділік
(DPPH радикалын байланыстыру қабілеті)

ABTS-белсенділігіне қатысты да ұқсас көрініс байқалды. Сулы экстрактілерде нұсқалар арасында елеулі айырмашылықтар анықталған жоқ. Этанолды экстрактілерде ABTS бойынша ең жоғары мәндер қышқылдандыру мен сутекпен қанықтырудың бірлескен әсері кезінде алынды, бұл H_2 қосылмаған қышқылдандырылған үлгілердегі көрсеткіштерден жоғары (6-сурет).

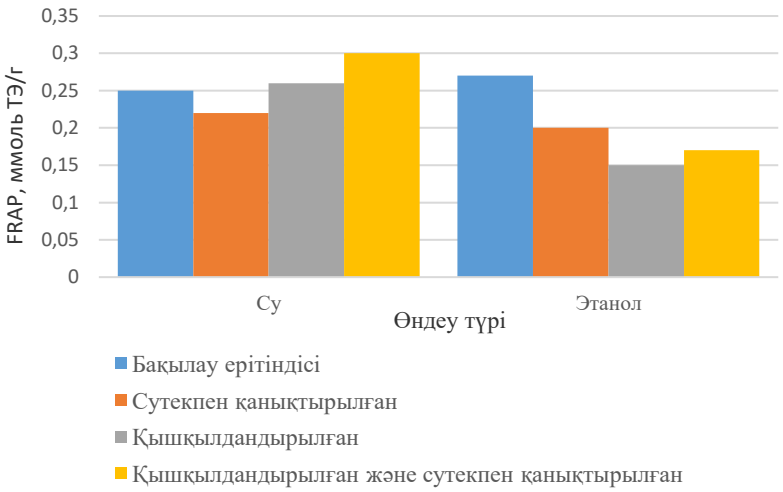


Сурет 6. Антиоксиданттық белсенділік
(ABTS радикалын байланыстыру қабілеті)

Біріктірілген нұсқадағы антиоксиданттық белсенділіктің жоғары болуы екі фактордың синергизмімен түсіндіріледі: қышқылдандыру шикізаттан полифенолдар мен флавоноидтардың босатылуына ықпал етеді, ал молекулярлық сутек экстракция барысында бұл қосылыстарды тотығудан қорғайды. Әрбір фактордың жеке өзі мұндай әсерге қол жеткізбейді.

Ұқсас нәтижелер [11,12], зерттеулерінде де алынған, мұнда сутекпен қанықтырылған еріткіштерді қолдану экстрактілердің DPPH және ABTS-белсенділігін арттырған.

Тотықсыздандырғыш антиоксиданттық қабілеті (FRAP-талдау). Барлық басқа көрсеткіштерге қарағанда, FRAP мәндері сулы да, этанолды да экстрактілердің барлық өңдеу нұсқаларында іс жүзінде өзгеріссіз қалды (7-сурет). TPC, TFC, TMA, DPPH және ABTS-белсенділігінің айтарлықтай артуы аясында FRAP көрсеткішінің өзгеріссіз қалуы қышқылдандыру мен молекулярлық сутек әсерінің селективті сипатын айқындайды. Олар радикалдарды байланыстыру механизмдерін тиімді күшейтеді, бірақ темір иондарының ($Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$) тотықсыздануына іс жүзінде әсер етпейді. Бұл әдістердің механизмдерінің түбегейлі әртүрлілігіне байланысты: DPPH және ABTS бос радикалдарды байланыстыру қабілетін бағаласа, FRAP тек Fe^{3+}-қа қатысты тотықсыздандырғыш қабілетті өлшейді.



Сурет 7. Тотықсыздандырғыш антиоксиданттық қабілеті (FRAP-талдау)

Қорытынды. Бұл зерттеуде еріткіштерді молекулярлық сутекпен (H_2) қанықтыру және қышқылдандырудың жүзім қабығынан биологиялық белсенді қосылыстарды экстракциялауға әсері алғаш рет жүйелі түрде зерттелді. Еріткіштерді модификациялаудың тиімділігі олардың табиғатына тікелей байланысты екені анықталды: сулы жүйелерде зерттелген көрсеткіштердің басым бөлігінде елеулі өзгерістер байқалмады, ал этанолды экстрактілерде қышқылдандыру мен сутекпен қанықтыру комбинациясы биологиялық белсенді қосылыстардың негізгі топтарының шығымын едәуір арттырды.

Жалпы фенолды қосылыстардың (TPC), флавоноидтардың (TFC) және мономерлі антоциандардың (TMA) ең жоғары мөлшеріне тек екі фактордың бірлескен әсері арқылы ғана қол жеткізілді. Осыған ұқсас заңдылық DPPH

және ABTS тесттері бойынша антиоксиданттық белсенділікте де байқалды. Бұл ретте FRAP әдісімен анықталған тотықсыздандырғыш қабілет іс жүзінде өзгеріссіз қалды, бұл молекулярлық сутек пен қышқылдандыру әсерінің селективті сипатын растайды: олар радикалдарды байланыстыру механизмдерін күшейтеді, бірақ темір иондарының тотықсыздану реакцияларына әсер етпейді.

Алынған нәтижелер молекулярлық сутектің және қышқылдандырудың әсерінің айқын селективтілігін көрсетеді: олар негізінен полифенолдардың (флавоноидтар мен антоциандарды қоса алғанда) шығарылуын және радикалдарды ұстауға негізделген антиоксиданттық белсенділікті (DPPH және ABTS) күшейтеді, бірақ темір иондарын тотықсыздандыру қабілетіне (FRAP) іс жүзінде әсер етпейді. Мұндай селективті әсер полифенолдарды тотығулық деградациядан қорғаумен және қышқылды тотықсыздандырғыш ортада олардың жасуша қабырғасынан босап шығуын жақсартумен түсіндіріледі. Қышқылдандырылған этанолдық еріткіштерді молекулярлық сутекпен қанықтыру арқылы пайдалану жүзім өңдеу қалдықтарынан мақсатты және жоғары тиімділікпен биоактивті қосылыстарды алуға бағытталған экологиялық таза («green») тәсіл болып табылады.

Ұсынылып отырған әдіс агроөнеркәсіптік қалдықтарды тұрақты өңдеу және антиоксиданттық белсенділігі жоғары функционалды ингредиенттер алу үшін жаңа мүмкіндіктер ашады.

Әдебиеттер тізімі

1. Lopes J. da C., Madureira J., Margaça F.M.A., Cabo Verde S. Grape Pomace: A Review of Its Bioactive Phenolic Compounds, Health Benefits, and Applications // Molecules. – 2025. – DOI: 10.3390/molecules30020362.
2. Karastergiou A., Gancel A.L., Jourdes M., Teissedre P.L. Valorization of Grape Pomace: A Review of Phenolic Composition, Bioactivity, and Therapeutic Potential // Antioxidants. – 2024. – DOI: 10.3390/antiox13091131.
3. Rondeau P., Gambier F., Jolibert F., Brosse N. Compositions and chemical variability of grape pomaces from French vineyard // Industrial Crops and Products. – 2013. – Vol. 43, No. 1. – DOI: 10.1016/j.indcrop.2012.06.053.
4. Guaita M., Bosso A. Polyphenolic characterization of grape skins and seeds of four Italian red cultivars at harvest and after fermentative maceration // Foods. – 2019. – Vol. 8, No. 9. – DOI: 10.3390/foods8090395.
5. Kammerer D., Claus A., Carle R., Schieber A. Polyphenol screening of pomace from red and white grape varieties (Vitis vinifera L.) by HPLC-DAD-MS/MS // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2004. – Vol. 52, No. 14. – DOI: 10.1021/jf049613b.
6. Yang C., et al. Phenolic composition of grape pomace and its metabolism // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2024. – DOI: 10.1080/10408398.2022.2146048.
7. Galante M., Brassesco M.E., Santos C.M., Beres C., Fai A.E.C., Cabezudo I. Grape pomace as a natural source of antimicrobial agents for food preservation // Frontiers in Nutrition. – 2025. – DOI: 10.3389/fnut.2025.1650450.
8. Azmir J., et al. Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review // Journal of Food Engineering. – 2013. – Vol. 117, No. 4. – P. 426–436. – DOI: 10.1016/J.JFOODENG.2013.01.014.
9. Engin T., et al. Use of hydrogen-rich solvent and principal component analysis improves the recovery of phytochemicals from grape wastes // Journal of Agriculture and Food Research. – 2025. – Vol. 22. – Art. 102033. – DOI: 10.1016/J.JAFR.2025.102033.
10. Alwazeer D., et al. Hydrogen incorporation into solvents can improve the extraction of phenolics, flavonoids, anthocyanins, and antioxidants: A case-study using red

beetroot // Industrial Crops and Products. – 2023. – Vol. 202. – DOI: 10.1016/j.indcrop.2023.117005.
11. Engin T., Çiğdem A., Alma M.H., Alwazeer D. Hydrogen-rich solvent method enhances the extraction of phenolics, pigments, reducing sugars, organic acids, and vitamin C from cowslip (Primula veris L.) flower // Food Chemistry. – 2025. – Vol. 463. – Art. 141271. – DOI: 10.1016/J.FOODCHEM.2024.141271.
12. Alwazeer D., Elnasanelkasim M.A., Çiğdem A., Engin T., LeBaron T.W. Incorporation of molecular hydrogen into solvents increases the extraction efficiency of phenolics, flavonoids, anthocyanins, and antioxidants: the case of lemon peels // Frontiers in Sustainable Food Systems. – 2023. – Vol. 7. – DOI: 10.3389/fsufs.2023.1223027.
13. Alwazeer D. Hydrogen-rich solvent method in phytochemical extraction: Potential mechanisms and perspectives // Phytochemical Analysis. – 2024. – DOI: 10.1002/pca.3304.

Зерттеу жұмыстары ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылған BR24992914 «Лигноцеллюлозалық қосалқы өнімдердің құндылығын арттыруға бағытталған құны жоғарылатылған өнімдерді өндірудің кешенді биотехнологиялық шешімдері» жоба аясында орындалды.

Материал редакцияға 09.04.26 түсті, 11.06.26 қабылданды.

А.А. Баядилова[1], Г.Б. Абдилова[1], К.С. Бекбаев[1], К.С. Байчиева[1], А.Б. Арын[1]

[1]Шәкәрім университет, Семей, Казахстан

ВЛИЯНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОГО ВОДОРОДА НА ВЫХОД БИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ КОЖУРЫ ВИНОГРАДА

Аннотация. В данной работе изучали эффективность извлечения ценных соединений из кожуры винограда с использованием четырех типов растворителей: обычного, H_2-насыщенного, подкисленного, а также подкисленного с насыщением водородом (H_2). В образцах определяли содержание общих полифенолов (TPC), флавоноидов (TFC), антоцианов (TMA) и антиоксидантную активность методами DPPH, ABTS и FRAP. В водных экстрактах значимых различий между исследуемыми растворителями не выявлено. В этанольных системах комбинация подкисления и насыщения водородом приводила к достоверному росту TPC и TMA, а также антиоксидантной активности по методам DPPH и ABTS. При этом показатели FRAP оставались практически неизменными, что указывает на селективный характер влияния молекулярного водорода: он преимущественно усиливает выход полифенолов и антоцианов, но не влияет на восстановительную способность, оцениваемую методом FRAP. Полученные результаты подтверждают перспективность использования водород-насыщенных подкисленных этанольных растворителей для направленного повышения выхода ценных биологически активных соединений из виноградных отходов.

Ключевые слова: виноградная кожура, полифенолы, водород, экстракция, антиоксидантная активность.

A.A. Bayadilova[1], G.B. Abdilova[1], K.S. Bekbayev[1], K.S. Baychiyeva[1], A.B. Aryn[1]

[1]Shakarim University, Semey, Republic of Kazakhstan

INFLUENCE OF MOLECULAR HYDROGEN ON THE YIELD OF BIOACTIVE COMPOUNDS FROM GRAPE POMACE

Abstract. In this study, the efficiency of extracting valuable compounds from grape skin was investigated using four types of solvents: conventional, H_2-saturated, acidified, and acidified and saturated with molecular hydrogen (H_2). The samples were analyzed for total phenolic content (TPC), total flavonoid content (TFC), total monomeric anthocyanins (TMA), and antioxidant activity using DPPH, ABTS, and FRAP assays. No significant differences were observed between the studied solvents in aqueous extracts. In ethanolic systems, the combination of acidification and hydrogen saturation led to a statistically significant increase in TPC and TMA contents, as well as in antioxidant activity measured by DPPH and ABTS methods. At the same time, the FRAP values remained almost unchanged, indicating the selective nature of molecular hydrogen's effect: it primarily enhances the extraction of polyphenols and anthocyanins but does not affect the reducing capacity assessed by the FRAP method. The obtained results confirm the promise of using acidified ethanolic solvents saturated with molecular hydrogen for the targeted and efficient extraction of valuable biologically active compounds from grape processing waste.

Keywords: grape skin, polyphenols, molecular hydrogen, extraction, antioxidant activity.

ҒТАМР 65.33.29

Ұ. Минатбек[1] – *негізгі автор,*
А.Н. Есенгазиева[2], Д.А. Тлевлесова[3], Н.К. Ахметова[4]

[1]Магистрант, [2]PhD,қауымдас. профессор м.а., [3]PhD, қауымдас. профессор, [4]Техн. ғылым. канд.

ORCID *[1]https://orcid.org/0009-0001-0924-4082 [2]https://orcid.org/0000-0003-2314-2995 [3]https://orcid.org/0000-0002-5084-6587 [4]https://orcid.org/0000-0001-7453-2200*

[1,2,3,4]Алматы Технологиялық университеті,

Алматы, Қазақстан

[1]unas2004@icloud.com

https://doi.org/10.55956/TUUH3950

ГЛЮТЕНСІЗ, ГЛИКЕМИЯЛЫҚ ИНДЕКСІ ТӨМЕН НАН ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӘЗІРЛЕУДІҢ ҒЫЛЫМИ НЕГІЗДЕРІ

Аңдатпа. Глютенсіз диета мен целиак ауруы бидай, қара бидай және арпа құрамында кездесетін ақуыз – глютенге төзбеушілікпен байланысты. Целиак ауруы – иммундық жүйенің глютенге патологиялық жауап беруімен сипатталатын және аш ішектің шырышты қабатын зақымдайтын ауру. Осы себепті қоректік заттардың сіңуі нашарлайды және іштің ауыруы, әлсіздік, дене салмағының төмендеуі сияқты клиникалық белгілер пайда болады. Целиак ауруын емдеудің негізгі және жалғыз тиімді әдісі – құрамында глютені бар тағамдарды толығымен алып тастауға негізделген қатаң глютенсіз диетаны ұстану қарастырылды. Мұндай диета ішектің құрылымы мен қызметін қалпына келтіруге, сондай-ақ науқастың жалпы жағдайын жақсартуға мүмкіндік береді. Қазіргі уақытта глютенсіз диета целиак ауруы бар адамдар арасында ғана емес, сонымен қатар салауатты өмір салтын ұстанатын тұтынушылар арасында да танымал болып келеді.

Тірек сөздер: глютенсіз ұн, целиакия, гликемиялық индекс, диета, глютен, ақуыз, заманауи байытқыштар.

Минатбек, Ұ. Глютенсіз, гликемиялық индексі төмен нан технологиясын әзірлеудің ғылыми негіздері [Мәтін] / Ұ. Минатбек, А.Н. Есенгазиева, Д.А. Тлевлесова, Н.К. Ахметова // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №2(92). – Б.147-160. https://doi.org/10.55956/TUUH3950

Кіріспе. Функционалдық нан өнімдері – адам ағзасын, денсаулықты нығайтуға арналған биологиялық активті қоспалармен байытылған тағам өнімдері. Қазіргі уақытта дұрыс тамақтануға деген қызығушылықтың артуының себебінен мұндай өнімдерге сұраныс тұрақты түрде артып келеді. Қазақстанда және ТМД елдерінде функционалды нан өндірісін дамытудың жоғары әлеуетіне қарамастан, оны кеңінен енгізу бірқатар технологиялық және ұйымдастырушылық қиындықтармен шектеледі. Осыған байланысты функционалды нан өндірісінің тиімділігін арттыру және жетілдіру өзекті ғылыми бағыттардың бірі болып табылады [1].

Қазақстан халқының тамақтануында нан ерекше орын алады, өйткені ол күнделікті тұтынылатын өнім болып табылады. Нан-тоқаш өнімдерінің есебінен ғана қазақстандықтардың 30%-ы ағзаның энергетикалық

қажеттіліктерін, ал 20-30%-ы өсімдік тектес ақуыздардан және 30%-ға дейіні көмірсулардан алатыны анықталды [2].

Дегенмен, дәстүрлі нан-тоқаш өнімдері адам ағзасына кері әсерін тигізіп, асқазан-ішек жолдарының әртүрлі ауруларын тудырады. Соңғы он жылда ғалымдар дәнді дақылдардағы глютенге төзбеушілік мәселесіне ерекше назар аударуда. Себебі құрамында глютені бар тағамдарды жегеннен кейін аллергиямен ауыратындардың саны көбеюде.

Глютенсіз тағамдар (астық проламиндері) нарық сегменттерінің бірі болып табылады. Сол кезеңде олардың өндірісі 125%-ға өсті [3].

Глютеннің зияны туралы айтпас бұрын, оның не екеніне тоқталайық. Глютен – бидай, қара бидай, арпа сияқты дәнді дақылдарда кездесетін күрделі ақуыз. Ол екі негізгі компоненттен тұрады: қамырға серпімділік беретін глютенин және қамырдың тұтқырлығы мен көтерілу қабілетіне жауап беретін глиадин (спиртте еритін ақуыз фракциясы) [4].

Ауруды тудыратын факторлар: жүктілік, босану, ішек инфекциялары және т.б. Атипті целиак ауруы (науқастардың шамамен 35%) анемия, ауыз қуысының ойық жарасы, артропатия сынды ішектен тыс белгілермен көрінеді. Жасырын немесе үнсіз форманың клиникалық белгілері болмайды, алайда ішектің шырышты қабығында өзгерістер байқалады. Потенциалды пішінде ішектің шырышты қабаты қалыпты, бірақ Т-лимфоциттердің саны жоғары. Торпидті (отқа төзімді) түрі ауыр түрге жатады, емдеуге қарсы және гормонды қолдануды қажет етеді [4].

Целиак ауруы – бұл өмір бойы жалғасатын созылмалы ауру, ол өздігінен жойылмайды. Асқазан-ішек жүйесінде ұзақ уақыт емделмеген жағдайда қатерлі ісік, аутоиммунды аурулар, минералдар мен дәрумендердің жетіспеушілігі көрініс табады. Бұл ауру кальций мен D дәруменінің сіңуін бұзады, бұл сүйек жүйесінің деформациясына, темір тапшылығы анемиясына және йод тапшылығына әкеледі. Микрофлораның өзгеруі, лактаза жетіспеушілігі және кейбір тағамдарға аллергиялық реакциялар да пайда болады. Ауру жүйке жүйесіне, қан жүйесіне, теріге және басқа мүшелерге әсер етеді [5].

Ғылыми зерттеулерге шолу және талдау. Целиак ауруы немесе целиак емес энтеропатия – бұл глиадинге жоғары сезімталдығы бар аш ішектің генетикалық анықталған ауруы. Әртүрлі дәрежедегі мальабсорбция синдромының клиникалық көріністерімен аш ішек эпителийінің атрофиясымен сипатталады. Тарихи тұрғыдан целиак ауруы сирек кездесетін ауру болып саналды, негізінен ішек мальабсорбциясының типтік белгілері бар балаларға тән. Дегенмен, целиак ауруы туралы идеялар соңғы онжылдықтарда қарқынды дамып, қазір ол ересектерде жиі кездеседі. Қазіргі уақытта ол ересектер мен балаларда шамамен бірдей дәрежеде диагноз қойылған [6].

Қазақстан Республикасы Денсаулық сақтау министрлігінің 2025 жылғы мәліметтері бойынша Қазақстанда 472 адам глютеннен зардап шегеді. Оның 421-і бала. Біздің елімізде целиак ауруы жыл сайын артып келеді, халық импорттық глютенсіз өнімдерді тұтынады, бірақ бұл науқастар үшін қымбатқа түседі. Елде глютенсіз өнімдер өндірісі жоқ, сондықтан бұл олардың бағасының қымбат болуына себепші болады.

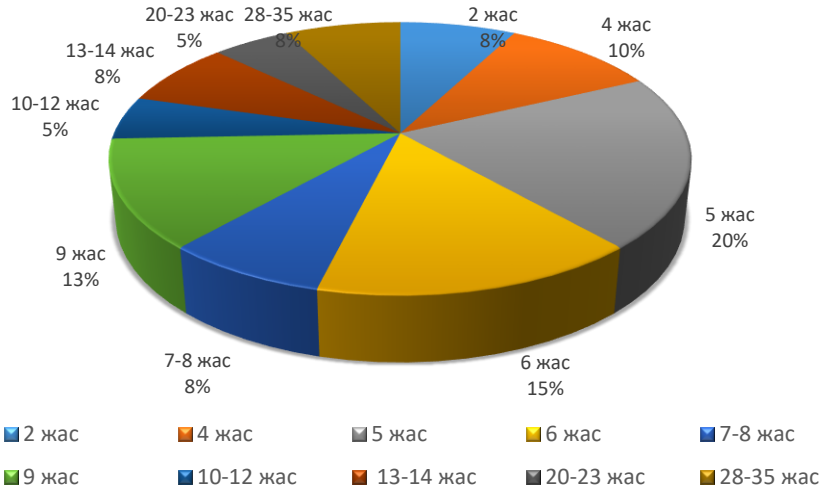
Бүгінгі таңда әлемде әзірленген глютенсіз өнімдердің көптеген технологиялары Америка мен Еуропаның ең ірі фирмалары – Dr.Schaer, Aproten, GLUTANO FARMO (Италия); GULLON (Испания); Bezglutenex, Balviten, Glutenex (Польша); maddys (АҚШ); Milupa, Hammermühle,

Samidamed (Германия); Taranis (Франция); Promin, The Bridge (Ұлыбритания) сынды өндіріс орындарына тиесілі. Олардың барлық өнімдері патенттермен қорғалған және қаптамасында «Gluten-free» белгісі белгіленген.

Алайда өнімдердің бұл санаты өте қымбат және целиак ауруы бар адамдар үшін әрқашан қол жетімді емес екендігі өкініш тудырады. Сонымен қатар, біздің елімізде тиісті таңбаланған өнімдер шығарылмайды. Орташа алғанда, мұндай өнімдердің бағасы дәстүрлі ұн өнімдеріне қарағанда 5-10 есе жоғары.

Қазіргі таңда Қазақстанда қарақұмық, жүгері, күріш, тары, зығыр сияқты дәнді, дәнді-бұршақты және майлы дақылдар жеткілікті көлемде өсірілуде және т.б., олар глютенсіз макарон өнімдерін өндіру үшін ұн өндіру үшін толық шикізат ретінде қызмет ете алады.

Төмендегі 1-суретте целиак ауруы бар науқастардың жас ерекшеліктері көрсетілген.



Сурет 1. Целиакиямен ауыратын науқастардың жас ерекшеліктері.

Суреттен көрсетілгендей, 5 жастағы балалардағы целиак ауруының жиілігі 20% құрайды және жоғарыда аталған жас ерекшеліктерімен салыстырғанда айтарлықтай жоғары көрсеткішке ие. Статистикаға сүйенсек, тіркелгендердің арасында ересектерге қарағанда бұл аурумен ауыратын балалар көп.

Тарихи тұрғыдан алғанда, целиак ауруы негізінен диарея, салмақ жоғалту және өсудің тежелуі сияқты мальабсорбция белгілері еуропалық балалар арасында тіркелген. Алайда, қазіргі уақытта ол барлық жастағы адамдарға, этникалық топтарға әсер етеді және асқазан-ішек жолдарының кішігірім белгілерімен немесе шаршау, анемия және неврологиялық белгілерді қоса, атипті клиникалық көріністермен сипатталады [7].

Целиак ауруы бар адамдар өмір бойы глютенсіз диетаны ұстануы керек. Глютенсіз өнімдерді өндіру үшін пайдаланылатын негізгі шикізаттың тізімі жеткілікті кең емес, негізінен жүгері, күріш және соя ұнымен, сондай-ақ глютенсіз крахмалмен (жүгері, картоп, күріш) шектеледі. Сонымен қатар, жоғары сортты күріш ұны, тары, тәтті люпин ұны және бұршақ ақуызы қолданылады. Ассортименттің әртүрлілігі хош иісті қоспалардың кең спектрімен толықтырылады [8].

Осыған байланысты Fabio Dal Bello (Италия), Elke K. Arendt (Швейцария), Eimear Gallagher (АҚШ), Козубаева Л.А., Вишняк М.Н., Камышева И.М., Костенко В.Г., Лукин Л.В., Макущенко Н.И., Коптлеуова Т.М., Полуботько О.В., Байкенова А.Ө., Павленко Н.Е., Дубровская Н.О., Кузнецова Л.И., Парахина О.И., Савкина О.А., Жаркова И.М., Мирошниченко Л.А., Росляков Ю.Ф., сияқты шетелдік ғалымдардың, сондай-ақ Молдабекова М.К., Искакова Г.К., Мурзахметова М.К., Кулуштаева Б.М. сияқты отандық ғалымдардың еңбектерін атап өтуге болады.

Соңғы онжылдықта целиак ауруының таралуы айтарлықтай өсті. Целиак ауруымен ауыратын адамдардың мөлшері әлем халқының 1%-ын құраса, ал оның таралу деңгейі Еуропа мен Азияда жоғары болып табылады [9].

Целиак ауруының дамуына әсер ететін үш негізгі фактор бар:

1. *Сыртқы фактор* – глютен ақуызына жататын бидай, қара бидай, арпа, сұлы сияқты дәнді дақылдардан пайда болады.

2. *Генетикалық бейімділік* – глютен мен тіндік трансглютаминаза иммундық жүйені байланыстырады және белсендіреді, ішек қабырғасын зақымдайды.

3. *Ішек қабырғасының өткізгіштігінің бұзылуы* – глютеннің фрагменттері зонулиннің жоғары деңгейінен оңай өтеді, бұл үшін иммундық жүйе жауап береді.

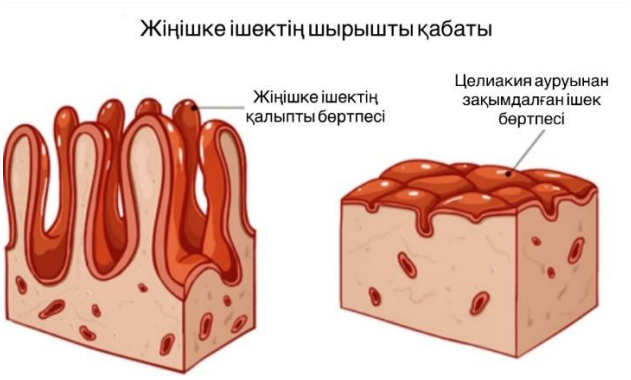
Сондықтан ауру тек генетикалық бейімділігі бар және ішек өткізгіштігі бұзылған адамдарда ғана дамиды. Тұтас дәнді дақылдар глютені бар сау адамдар үшін маңызды қоректік құндылыққа ие болғанымен, олар целиакпен ауыратындар үшін улы болып табылады.

Соңғы жылдары глютенсіз өнімдерге сұраныс жоғары болды. Глютен – бұл екі ақуыздан тұратын зат: глиадин және глютенин. Глиадин адам ағзасына кері әсерін тигізеді. Глютен сөзі латын тілінен аударғанда «желім» дегенді білдіреді. Глютен қоспасы бар ұн қамырға серпімділік пен көтерілгіштік қасиет береді. Глютен бидай мен бидай өнімдерінде (бидай ұрығы мен кебегі), қара бидайда, арпада және ірі ұнтақта болады. Глютен бидайдағы ақуыз салмағының 80% құрайды [8-10].

Қазақстанда глютенсіз өнімдердің өз өндірісінің жоқтығынан өмір бойы диетотерапияны сақтауға мәжбүр болған целиакиямен ауыратын науқастарды мамандандырылған тамақпен қамтамасыз ету мәселесі туындап отыр. Бұл мәселе нақты әлеуметтік маңызы бар және адамдардың өмір сүру сапасын қамтамасыз етуде маңызды рөл атқаратын жаһандық категорияларға жатады [11].

Глютенсіз диета (аглютен) — целиак энтеропатиясымен күресудің заманауи әдісі. Қазіргі уақытта адамдарға глютенсіз диетаны, яғни глютенді тұтынудан туындайтын әртүрлі ішек ауруларының алдын алу үшін глютенсіз диетаны ұстануға кеңес беріледі. Глютенсіз диета – құрамында глютен ақуызы бар тағамдардан толығымен бас тартуға негізделген тамақтану жүйесі. Глютен – бұл тағамның құрылымын сақтауға және қамырдың серпімділігін қалыптастыруға көмектесетін ақуыздар тобы. Ол негізінен бидай, арпа, қара бидай сияқты дәстүрлі ұн дайындалатын дәндерде кездеседі. Мысалы, бидай мен қара бидайдың қосындысынан алынған тритикале өсімдігінің буынында болады.

2-суретте қалыпты ішек пен аурудан зардап шеккен ішектің шырышты қабығының айырмашылығы көрсетілген.



Сурет 2. Целиак ауруы немесе глютен әсерінен ішек шырышты қабатының өзгеруі

Глютен құрамындағы глиадин фракциясы иммундық жүйені белсендіреді, соның салдарынан ішектің ішкі бетінде орналасқан бүрлер тегістеліп, гипотрофияға ұшырайды. Бүрлердің зақымдануы қоректік заттардың қалыпты сіңуіне жол бермейді, мальабсорбция белгілерін тудырады.

Аглютенді диетаны қатаң сақтаған кезде глютеннің әсері жойылады, иммундық реакция баяулайды және ішек бүрлері біртіндеп қалпына келеді. Бұл диетаның негізгі мақсаттарының бірі – зақымдалған шырышты қабықты толық қалпына келтіру.

Аглютенді диетаның мақсаты – ағзаның глютен протеиніне теріс реакциясын болдырмау және ішектің шырышты қабығын толығымен қалпына келтіру. Атап айтқанда, біз келесі мақсаттарды қарастырамыз:

– глютенге сезімталдықпен зақымдалған ішек бүрлерін қалпына келтіру. Глютен ішектің шырышты қабығын зақымдайды және қоректік заттардың сіңуін нашарлатады. Диета – бұл ішекті босаңсытып, оның құрылымын қалпына келтірудің жалғыз әдісі;

– қоректік заттардың (темір, кальций, B12, фолий қышқылы) сіңуін жақсарту;

– асқорыту жүйесін қалыпқа келтіру. Іштің ауыруы, іштің кебуі, диарея, іш қату, жүрек айну сияқты белгілерді басқару;

– ұзақ мерзімді қабынулардың алдын алу. Тиімді аглютенді диета остеопороз, бедеулік, мальабсорбция, қатерлі ішек аурулары сынды қауіп-қатерлердің мөлшерін азайтады.

Тыйым салынған өнімдер. Глютеннің негізгі көзі болып табылатын барлық өнімдер толығымен аглютенді диетамен шектеледі. Бұған нан-тоқаш өнімдері, макарон өнімдері, ұн өнімдері, жарма, кейбір тұздықтар, шұжықтар, кондитерлік өнімдер жатады. Сұлы көбінесе бидаймен бірге өңделетіндіктен, айқаспалы ластану қаупі жоғары, сондықтан «глютенсіз сұлы» деп арнайы таңбаланған сұлыға ғана рұқсат етіледі.

Рұқсат етілген өнімдер. Глютенсіз диетада құрамында глютені жоқ дәнді дақылдар мен жалған дәнді дақылдар қолданылады. Олар – күріш, жүгері, қарақұмық, тары, құмай, киноа, амарант, сонымен қатар картоп, бұршақ және көмірсулардың басқа көздері. Өнеркәсіптік өнімдерде «gluten-free» таңбасы болуы керек және глютен мөлшері ≤ 20 ppm стандартынан аспауы тиіс.

Диетаны ұстанудағы қиындықтар мен шектеулер. Аглютенді диетаны ұстану бірнеше кедергілермен сипатталады. Бәрінен бұрын, глютенсіз өнімдердің құны жоғары, өйткені оларды өндіру күрделі, қосымша өңдеуді, таза технологиялық құралдарды және арнайы сертификаттауды қажет етеді. Сонымен қатар, ассортименттің шектеулі болуы біршама елдерде, соның ішінде Қазақстанда да көрініс табады. Бұл ем қабылдаушылардың күнделікті тамақтану жоспарын қиындатады.

Глютенсіз ұнның түрлері: олардың артықшылықтарын, шектеулерін және технологиялық қасиеттерін салыстырмалы талдау

Гликемиялық индекс (ГИ) – тамақ ішкеннен кейін қандағы қанттың (глюкозаның) қаншалықты тез көтерілетінін анықтайтын көрсеткіш. ГИ мөлшері төмендегі кесте бойынша анықталады.

Кесте 1

ГИ мөлшерін анықтау шкаласы

ГИ деңгейі	Сипаттамасы
0-55	Төмен – қант баяу көтеріледі
56-69	Орташа – қант орташа жылдамдықпен көтеріледі
70-100	Жоғары – қант тез көтеріледі

Салауатты өмір салтын ұстанған кезде жаңа, балғын және құнарлы тағамдарды тұтыну өте маңызды. Дәрілік шөптерден тағам дайындау, кептіру және әртүрлі тағамдарда қолдану дұрыс болып саналады. Осындай өнімдердің бірі болып табылатын – амарант ұны. Ол біртекті жаңа дақылдармен біріктірілген ақуыздың, дәрумендер және минералдың, тұздардың жоғары мөлшерімен сипатталады. Амарант дәндері алмастырылмайтын амин қышқылдарына, антиоксиданттарға және минералды заттарға бай. Құрамы бойынша ол елде дәстүрлі түрде өсірілетін көптеген дәнді дақылдардан, атап айтқанда бидай, күріш, соя, жүгері және т.б. дақылдардан жоғары көрсеткішке ие. Гликемиялық индекс (ГИ) мөлшері 45-55 аралығында, яғни орташа және төмен деңгейге жатады [12].

Қарақұмық ұнының құрамында маңызды дәрумендер, минералдар және диеталық талшықтар бар, бұл оны ет өнімдерін байытуға қолайлы етеді. Көмірсулар аз және биологиялық құндылығы жоғары. Ұнды үнемі тұтыну ағзадан токсиндерді кетіруге, жүрек-қан тамырлары жүйесін нығайтуға және өнімнің тағамдық қасиеттерін жақсартуға көмектеседі. Қарақұмық құрамында провитаминдер (каротиноидтар), В1, В2, В3, В6, В8 (инозитол), В9, Е, РР дәрумендері бар. Микро және макроэлементтер: магний, кальций, калий, натрий, фосфор, темір, кремний, марганец, күкірт, селен, мырыш, мыс, хром, никель, йод, кобальт, ванадий, бор және фтор. Органикалық қышқылдар (алма, лимон, қымыздық, малеин және мелон), флавоноидтар, фитоэстрогендер, полиқанықпаған қышқылдар (Омега-3) бар [13,14].

Жүгері ұны глютенсіз өнімдер технологиясында кеңінен қолданылатын үнемді және қолжетімді шикізат. Оның құрамында глютен жоқ, көмірсулар көп, ақуыз мөлшері орташа, май мөлшері аз. Сонымен қатар, жүгері ұны В тобындағы дәрумендерге және фосфор мен калий сияқты минералдарға бай. Бұл көрсеткіш оның тағамдық құндылығын арттырады.

Технологиялық тұрғыдан алғанда, жүгері ұны глютенсіз қамырдың құрылымын жұмсартады, дайын өнімнің түсін ашық сары және тартымды етеді, дәмді бейтараптандырады және ұнның кейбір түрлерінде кездесетін

ащылықты азайтады. Бұл глютенсіз нан қоспаларының құрылымын жақсартуға және органолептикалық қасиеттерін оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Дегенмен, жүгері ұнының да белгілі бір шектеулері бар. Оның гликемиялық индексі салыстырмалы түрде жоғары 70-80 құрайды. Диеталық талшықтары аз болғандықтан, бұл ұндарды жеке өзін емес, қарақұмық және жасымық сияқты гликемиялық индексі төмен ұндармен бірге пайдалану ұсынылады. Артық мөлшерде қосқанда дайын өнімнің түйіршіктілігі жоғарылауы мүмкін.

Осыған байланысты жүгері ұнын құрамында 10-15%, гликемиялық индексі төмен және ақуызға бай ұндармен бірге глютенсіз нан өндірісінде қолдану технологиялық және тағамдық жағынан тиімді болып саналады.

Жасымық ұны – глютенсіз нан-тоқаш өнімдерін өндіруде тағамдық және функционалдық құндылығы жоғары дәстүрлі емес шикізат. Оның құрамында глютен жоқ және құрамында ақуыз мөлшері жоғары (22-26%). Бұл глютенсіз тағамдардың тағамдық құндылығын арттыруға мүмкіндік береді және жасымық ұны тағамдық талшықтарға, темірге, мырышқа және В тобындағы дәрумендерге бай.

Гликемиялық индексі төмен болғандықтан (ГИ ≈ 30-35) жасымық ұны қанттың қанға баяу сіңуіне ықпал етеді және қант диабетіне бейім адамдарға арналған тағамдарға жарамды болып саналады. Технологиялық тұрғыдан алғанда, бұл қамырдың суды байланыстыру қабілетін жақсартады, оны тығызырақ және біркелкі етеді.

Күріш дүние жүзіндегі дәнді дақылдар арасында ең көп қолданылатын дақыл. Күріш ұнынан жасалған өнімдер тез қорытылады, құрылымы жұмсақ, дәмі мен иісі бейтарап. Күріш басқа дәнді дақылдардан глютеннің, аллергияға әкелетін ақуыздың болмауымен ерекшеленеді. Күріш дәндеріндегі ақуыздар ең аз мөлшерде бар, ал қалғандары күрделі көмірсулар болып табылады, дені сау адамға үздіксіз энергия алу үшін қажет.

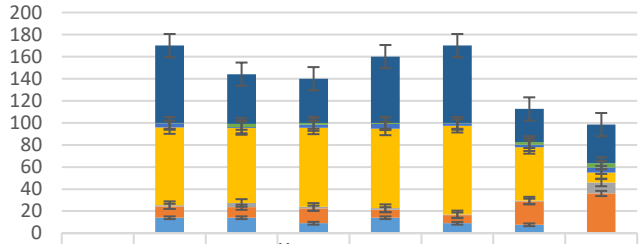
Күріш ұнының құрамында кез келген ағзаға пайдалы дәрумендер мен амин қышқылдары, микроэлементтер мен ақуыздар бар. Оның құрамында полисахаридтер, соның ішінде адам ағзасына жылдам сіңетін крахмал бар, бірақ күріш ұнында талшықтар мен моносахаридтер аз мөлшерде кездеседі.

Күріш ұны табиғи микроэлементтердің, минералдардың және дәрумендердің көп мөлшерінің болуына байланысты кез келген жастағы адамдар үшін, атап айтқанда, тағамды талдап жейтін балалар ағзасы үшін өте пайдалы өнім болып табылады.

Зығырдан жасалған ұн – бұл глютенсіз нан және басқа да функционалды тағам өнімдерін өндіруде кеңінен қолданылатын, биологиялық құндылығы жоғары дәстүрлі емес шикізаттардың бірі болып табылады. Оның құрамында ақуыз мөлшері 18-25% құрайды. Сондай-ақ май қышқылдарына, әсіресе Омега-3 май қышқылдарына бай. Сонымен қатар, зығыр ұнының құрамында еритін және ерімейтін тағамдық талшықтардың мөлшері жоғары, бұл оның функционалдық қасиеттерін анықтайды.

Зығыр ұны төмен гликемиялық индексімен ерекшеленеді, сондықтан қандағы қант деңгейін баяу көтереді. Оны қант диабетіне бейім адамдарға арналған өнімдер құрамында кеңінен қолданады. Технологиялық тұрғыдан алғанда, зығыр ұны суды жақсырақ байланыстырады, қамырдың тұтқырлығын арттырады және псиллиуммен немесе басқа гидроколлоидтармен бірге қолданғанда глютеннің құрылым түзуші қызметін ішінара алмастыруға қабілетті.

Алайда, зығыр ұнының белгілі бір шектеулері бар. Оның майлылығы жоғары болғандықтан, шамадан тыс мөлшерде дайын өнімнің көлемінің азаюына, құрылымының тығыздануына және өзіндік дәмнің айқындалу сезіміне әкелуі мүмкін. Осыған байланысты зығыр ұнын глютенсіз нан өндірісінде 5-7% мөлшерінде, гликемиялық индексі төмен басқа ұн түрлерімен бірге қолдану технологиялық және тағамдық жағынан тиімді болып саналады.



	Бидай ұны	Амарант ұны	Қарақұмық ұны	Жүгері ұны	Күріш ұны	Жасымық ұны	Зығыр ұны
Гликемиялық индекс	70	45	40	60	70	30	35
Күл	0,5	2,8	1,5	0,8	0,5	2,3	3,9
Тағамдық талшықтар	3,5	1,1	2,8	4,4	2,3	2,3	4,5
Көмірсу	70,6	67,8	71,9	72,1	80,2	48,5	9
Май	1,1	3,9	1,2	1,5	0,6	0,6	10
Ақуыз	10,3	9,5	13,6	7,2	7,4	21,3	36
Су	14	14	9	14	9	7,6	

Сурет 2. Бидай ұны мен дәстүрлі емес ұнның химиялық құрамы мен көрсеткіштері

Глютенсіз өнімдерді дайындауда қолданылатын қоюландырғыштар мен тұрақтандырғыштар. Заманауи байытушы қоспалар.

Глютенсіз қамыр – бұл полисахаридтер мен басқа да құрылымды түзуші компоненттерден тұратын, тұтқырлықты арттырып, қамырды тұрақтандыратын заттарды қамтитын өте күрделі жартылай сұйық жүйе. Ол жоғары тығыздығымен және төмен серпімділігімен ерекшеленеді. Глютенсіз қамырда кәдімгі бидай қамырымен салыстырғанда су мөлшері жоғары болады, негізгі шикізаттың табиғатына, оның суды сіңіру қабілетіне және ұнның түйіршіктілігіне байланысты. Сонымен қатар, қамырды илеу процесі де маңызды технологиялық фактор болып табылады. Илеу ұзақтығы мен қарқындылығы дайын өнімнің сапасына әсер етеді. Әсіресе ұзақ уақыт илеу нанның меншікті көлемінің ұлғаюына ықпал етуі мүмкін. Қосымша құрылым түзуші компоненттер енгізілмеген жағдайда глютенсіз өнімнің пішіні тұрақсыз, когезиясы төмен, ал жұмсақ жеткілікті дәрежеде серпімді және иілгіш болмайды [15].

Глютенсіз ұндар, яғни күріш, жүгері, қарақұмық, амарант және т.б. бидай ұнына тән негізгі технологиялық қасиеттерге толығымен ие емес. Өйткені оның құрамында қамырдың созылғыштығы мен серпімділігін сақтайтын глютенді ақуыз, сондай-ақ ашыту кезінде бөлінетін көмірқышқыл газы жоқ. Нәтижесінде глютенсіз қамырдың құрылымы әлсіз, тұтқырлығы

төмен, пішінін жақсы ұстамайды және механикалық кернеулерге жол бермейді. Мұндай қамыр негізінде дайындалған нанның көлемі әдетте төмен болып, жұмсағы үгітілгіш, ал серпімділігі жеткіліксіз болады және нан тез кебеді. Осы себепті глютенсіз нан өндірісінде тағамдық қоспаларды қолдану қажеттілігі туындайды.

Атап айтқанда, гидроколлоидтар, қоюландырғыштар, тұрақтандырғыштар, эмульгаторлар, сондай-ақ ақуыз және диеталық талшыққа бай қоспалар глютеннің құрылым түзуші қызметін ішінара алмастыра алады. Бұл қамырдың реологиялық қасиеттерін жақсартып, газды ұстау қабілетін арттырады және өнім көлемін арттыруға ықпал етеді. Сонымен қатар, аталған қоспалар нан үгінділерінің жұмсақтығын, серпімділігін және біркелкілігін қамтамасыз етеді. Сақтау барысында сапасының тұрақтылығын арттырады. Нәтижесінде глютенсіз нанның құрылымдық және механикалық көрсеткіштері жақсарып, тұтынушылық қасиеттері бидай нанына жақындай түседі.

Крахмал глютенсіз нан және нан-тоқаш өнімдерінің, сондай-ақ глютенсіз дақылдардан жасалған өнімдердің негізгі қоспаларының бірі. Крахмал өнімнің көлемі мен түсіне жауап беретін жұмсағының құрылымын қалыптастыруда маңызды рөл атқарады. Сонымен қатар, крахмал қоюландырғыш, гель түзуші, тұрақтандырғыш және ылғалды байланыстырушы компонент ретінде қызмет етеді. Нанның ескіру (қатаюын) процесін баяулатуға ықпал етеді [16].

Крахмал өсімдіктің көзіне байланысты әртүрлі мөлшері мен пішіндегі түйіршіктер түрінде кездеседі, бұл оның функционалдық қасиеттерінің өзгермелі болуын анықтайды. Мысалы, жүгері, күріш, картоп және тапиока крахмалдары глютенсіз өнімдерде кеңінен пайдаланылады және олардың желатинизация температурасы, суды сіңіру қабілеті және ісіну дәрежесі әртүрлі болады. Аталған көрсеткіштер қамырдың реологиялық қасиеттеріне, пісіру кезінде газды ұстап тұру қабілетіне және нанның меншікті көлеміне тікелей әсер етеді [17].

Сонымен қатар, модификацияланған крахмалдардың глютенсіз нан өндірісіндегі маңызы ерекше. Бұл крахмал түрлері жоғары температураға және механикалық кернеулерге төзімді болады. Қамырдың тұрақтылығын арттыру, пісіру процесінде құрылымның бұзылуын азайту және сақтау кезінде өнім сапасының тұрақтылығын қамтамасыз ету қасиеттеріне жауап береді. Крахмалды басқа гидроколлоидтармен, атап айтқанда ксантан, гуар сағызы, псиллиуммен үйлесімді пайдалану глютенсіз қамырдың құрылымын жақсарта алады және глютеннің құрылымдық қызметін ішінара алмастыра алады. Нәтижесінде дәстүрлі нанға ұқсас өнім алынады, глютенсіз нанның көлемі ұлғаяды, оның жұмсақтығының біртектілігі мен икемділігі артады, тұтынушылық қасиеттері жақсарады [18].

Ең көп тарағандары ферменттік препараттар – *амилазалар*. Олар нан жұмсағының түсін жақсартады және хош иісті қосылыстардың түзілуіне жағдай жасайды. Амилазалар амилопектинді ішінара ыдыратады, осылайша крахмалдың қайта кристалдану процесін жүзеге асырады [19,20].

Трансглютаминаза қамырдың тұтқырлық, серпімділік қасиеттерін арттырып, жұмсағының қаттылығын төмендетеді. Ал *циклодекстриназа* қамырдың тұтқырлығын арттырады, бұл соңында өнімнің пішін индексінің жақсаруына және жұмсағының қаттылығына әкеледі.

Гидроколлоидтар. Гидроколлоидтарды қолдану глютенсіз өнімнің сапасы мен қасиеттері үшін өте маңызды. Олар ісініп, гель түзеді. Қыздыру

нәтижесінде пайда болған бұл гель қамыр массасын қоюлатып, газ көпіршіктерінің қабырғаларын түзеді. Бұл илеу, қопсыту немесе пісіру ұнтақтарын пайдалану процесінде бөлінетін газдың жоғалуын болдырмайды. Пісіргеннен кейін гидроколлоидтар жұмсағының құрылымын тұрақтандырып, суды байланыстырады және крахмалдың тез ретроградталуына жол бермейді. Сонымен қатар, олар өнімнің тұрақтылығын қамтамасыз етеді, тіпті мұздату кезінде. Суды байланыстыру қабілеті жоғары болғандықтан, гидроколлоидты құрамдарда су көбірек болады [20]. Ең жиі қолданылатын гидроколлоидтар 2-кестеде көрсетілген.

Кесте 2

Жиі қолданылатын гидроколлоидтар

Атауы	Гидроколлоидтың қызметі
Ксантан – Е415	Табиғи полимер. Суды сіңіріп, желім тәрізді құрылымды құрайтын микроорганизмдерден алынатын табиғи полисахарид. Қамырды серпімді етеді газды газды ұстап тұру қызметін қамтамасыз етеді.
Гуар – Е412	Гуар бұршақтарынан алынатын полисахарид. Қамырдың тұтқырлығын арттырады және ылғалды сақтайды.
Псиллиум	Бұл жолжелкен өсімдігінің қабығынан алынатын талшық. Суды сіңіреді, гель түзеді, қамырдың серпімділігін арттырады.
HPMC (Гидроксипропил-метилцеллюлоза)	Бұл химиялық өңделген целлюлоза туындысы, ол гель түзеді, қамырдың құрылымын тұрақтандырады және оның көлемін арттырады.

Микробтық ашыту немесе ферментация – глютенсіз нан технологиясындағы маңызды процесс. Бұл әдіс негізінен сүт қышқылы бактериялары (*Lactobacillus spp.*) және ашытқылар (*Saccharomyces cerevisiae*) қатысында жүзеге асады. Ашыту қамырдағы көмірсулардың ыдырауын қамтамасыз етеді, көмірқышқыл газының (CO_2) түзілуін арттыру арқылы, нан көлемінің ұлғаюына және жұмсағының жеңіл, кеуекті құрылымына әкеледі.

Глютенсіз қамырда табиғи глютенді тор болмағандықтан, микробтық ашыту айырықша маңызды:

– Қамырдың құрылымын жақсарту – ашыту нәтижесінде пайда болатын органикалық қышқылдар крахмалмен және гидроколлоидтармен әрекеттесіп, жұмсағының біркелкілігін арттырады.

– Дәмі мен хош иісін қалыптастыру – сүт қышқылы бактерияларының алмасуы хош иісті заттар түзе отырып, өнімнің органолептикалық қасиеттерін жақсартады.

– Сақтау мерзімін ұзартуға көмектесу – қышқылдық деңгейінің жоғарылауы микробтардың бөлінуіне және ашытуына жол бермейді.

Ақуыздар глютенсіз тағамдардың тағамдық әсерін жоғарылатады. Ұн немесе басқа да құрамында ақуызы бар өнімді қосу қамырдың реологиялық қасиеттеріне және оның суды байланыстыру қабілетіне ықпал етеді. Ақуыздар крахмалмен және липидтермен әрекеттесіп, қамырдың тұрақтылығын және өнім құрылымын жақсартады. Сонымен қатар, олар өнімнің дәмін толықтырады және оған бай әсер береді. Ақуыздарды өсімдіктерден, мысалы, бұршақ дақылдары, соя, глютенсіз дәнді дақылдар, рапс, күнбағыс, картоп, жануарлардан алынатын сүйытылған сүт ақуыздары,

жұмыртқа, казеин, казеинат немесе микроорганизмдерден, балдырлардан, теңіз балдырларынан және жәндіктерден алуға болады [21].

Ең кең таралған және көп тұтынатын ақуыз негізінен жұмыртқа мен сүт ақуыздарынан алынады. Жұмыртқа құрылымдық торды қалыптастыру үшін өте пайдалы, бірақ ол әдетте нан технологиясында қолданылмайды. Сүт протеиндері, соның ішінде казеинаттар мен сарысу концентраттары кальцийдің көзі болып табылады және суды жақсырақ байланыстыра алады. Олар нан мен нан-тоқаш өнімдерінің түсі мен көлеміне оң әсер етеді.

Қорытынды. Зерттеу нәтижесінде глютенсіз, гликемиялық индексі төмен нан технологиясының ғылыми негіздері анықталды. Целиакиямен ауыратын және қант диабетіне шалдыққан адамар үшін қарақұмық, амарант, жасымық және зығыр сияқты ГИ төмен ұндардың химиялық көрсеткіштері зерттелді.

Глютенсіз қамырдың құрылымн, функционалды қасиеттерін жақсарту үшін заманауи байытқыштар мен басқа да құрылым түзуші компоненттердің тиімділігі көрсетілді. Ұсынылған глютенсіз нан технологиясы дайын өнімнің сапасын. Көрсеткіштерін арттырып, оны целик және ағзасында қант құрамы жоғары адамдар үшін қолдануға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі

1. Kusainov R. Kazakhstan and The Cis Countries Ways to Increase Bread Production // Вестник науки. – 2024. – № 12(81).
2. Алиев Т.М. Динамика уровня жизни населения в Казахстане (потребление продуктов питания) [Текст] / Т.М. Алиев // Вестник Московского университета. – 2015. – № 13. – С. 16–33.
3. Михалик Д.С. Целиакия: болезнь и образ жизни [Текст] / Д.С. Михалик, Г.В. Жуков, Л.И. Николаенкова, И.С. Козлова, Т.А. Богданова // Земский врач. – 2017. – № 4. – С. 50-51.
4. Lebwohl B., Sanders D.S., Green P.H.R. Coeliac Disease // Lancet. – 2017. – Vol. 391. – P. 70-81.
5. Leonard M.M., Cureton P.A., Fasano A. Managing coeliac disease in patients with diabetes // Diabetes, Obesity and Metabolism. – 2015. – Vol. 17, No. 1. – P. 3-8.
6. Искаков Б.С. Клинико-лабораторные аспекты диагностики целиакии у взрослых [Текст] / Б.С. Искаков, А.Т. Капасова // Медицина. – 2017. – Т. 9. – № 183. – С. 44-50.
7. Shiha M., Sanders D. What is new in the management of coeliac disease? // European Journal of Internal Medicine. – 2025. – Vol. 134. – P. 1-8.
8. Домбровская Я.П., Аралова С.И. Разработка рецептур безглютеновых мучных кулинарных изделий повышенной пищевой ценности [Текст] // Вестник ВГУИТ. – 2016. – № 4. – С. 142.
9. Singh P., Arora A., Strand T. Global Prevalence of Celiac Disease: Systematic Review and Meta-analysis // Clinical Gastroenterology and Hepatology. – 2018. – Vol. 16. – P. 823-836.e2.
10. Кулуштаева Б.М. Композициялық ұн қосылған глютенсіз нанның қауіпсіздігін қамтамасыз ету [Текст]: дис. ... PhD / Б.М. Кулуштаева. – Семей, 2023. – 178 с.
11. Кулуштаева Б.М. Преимущества использования пшеничного крахмала в хлебопекарной промышленности и ее пищевая безопасность [Текст] / Б.М. Кулуштаева, Г.Н. Нурымхан, Ж.К. Молдабаева // Пища. Экология. Качество: материалы XVI Международной научно-практической конференции. – Барнаул, 2019. – С. 96-100.
12. Кулуштаева Б.М. Изучение амарантовой муки для получения хлебобулочных изделий [Текст] / Б.М. Кулуштаева, Г.Н. Нурымхан // Наука и производство: состояние и перспективы: материалы Международной научно-практической конференции. – Кемерово, 2017. – С. 40-44.

13. Есенгазиева А.Н. Протеолиттік ферментті пайдаланып шұжық өнімдерінің өндірістік үдерісін оңтайландыру [Текст] / А.Н. Есенгазиева, Я.М. Узаков // Вестник университета Шакарима. Технические науки. – 2025. – № 2(18). – С. 186-193.
14. Узаков Я.М. Разработка математической модели прогнозирования качества полукопченых колбас из говядины второго сорта [Текст] / Я.М. Узаков, А.Н. Есенгазиева, Д.А. Тлевлесова, Л.А. Каймбаева, М.Ә. Қалдарбекова // Вестник Алматинского технологического университета. – 2023. – Т. 1. – № 3. – С. 109-117. DOI: 10.48184/2304-568X-2023-3-109-117.
15. Capelli A., Oliva N., Cini E. A systematic review of gluten-free dough and bread: Dough rheology, bread characteristics, and improvement strategies // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10. – Art. 6559. DOI: 10.3390/app10186559.
16. Horstmann S., Lynch K.M., Arendt E.K. Starch characteristics linked to gluten-free products // Foods. – 2017. – Vol. 6. – Art. 29.
17. Palabiyik I., Yildiz O., Toker O.S., Cavus M., Ceylan M.M., Yurt B. Investigating the addition of enzymes in gluten-free flours—The effect on pasting and textural properties // LWT – Food Science and Technology. – 2016. – Vol. 69. – P. 633-641.
18. Motahar S.F.S., Ariaeenejad S., Salami M., Emam-Djomeh Z., Mamaghani A.S.A. Improving the quality of gluten-free bread by a novel acidic thermostable α-amylase from metagenomics data // Food Chemistry. – 2021. – Vol. 352. – Art. 129307.
19. Haghighat-Kharazi S., Kasaai M.R., Milani J.M., Khajeh K. Microencapsulation of α-amylase in beeswax and its application in gluten-free bread as an anti-staling agent // Food Science and Nutrition. – 2020. – Vol. 8. – P. 5888-5897.
20. Zhao F., Li Y., Li C., Ban X., Cheng L., Hong Y., Gu Z., Li Z. Co-supported hydrocolloids improve the structure and texture quality of gluten-free bread // LWT. – 2021. – Vol. 152. – Art. 112248. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112248.
21. Skendi A., Papageorgiou M., Varzakas T. High-Protein Gluten Substitutes in Gluten-Free Bread // Foods. – 2021. – Vol. 10, No. 8. – Art. 1997. DOI: 10.3390/foods10091997.

Материал редакцияға 03.04.26 түсті, 12.06.26 қабылданды.

У. Минатбек[1], А.Н. Есенгазиева[1], Д.А. Тлевлесова[1], Н.К. Ахметова[1]

[1]Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ХЛЕБА С НИЗКИМ ГЛИКЕМИЧЕСКИМ ИНДЕКСОМ

Аннотация. Безглютеновая диета и целиакия связаны с непереносимостью глютена – белка, содержащегося в пшенице, ржи и ячмене. Целиакия – это заболевание, характеризующееся патологической реакцией иммунной системы на глютен и поражением слизистой оболочки тонкой кишки. В результиате нарушается всасывание питательных веществ, и возникают клинические проявления, такие как боль в животе, слабость и снижение массы тела. Основным и единственным эффективным методом лечения целиакии является соблюдение строгой безглютеновой диеты, основанной на полном исключении продуктов, содержащих глютен. Такая диета способствует восстановлению структуры и функции кишечника, а также улучшению общего состояние пациента. В настоящее время безглютеновая диета становится все более популярной не только среди людей с целиакией, но и среди потребителей, ведущих здоровый образ жизни.

Ключевые слова: безглютеновая мука, целиакия, гликемический индекс, диета, глютен, белок, функциональные продукты питания.

U. Minatbek[1], A.N. Yessengaziyeva[1], D.A. Tlevlesova[1], N.K. Akhmetova[1]

[1]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

SCIENTIFIC BASIS OF GLUTEN-FREE BREAD WITH A LOW GLYCEMIC INDEX

Abstract. Gluten-free diets and celiac disease are associated with gluten intolerance, a protein found in wheat, rye, and barley. Celiac disease is a disease characterized by an abnormal reaction of the immune system to gluten and damage to the mucous membrane of the small intestine. As a result, the absorption of nutrients is disrupted, and clinical manifestations such as abdominal pain, weakness, and weight loss occur. The main and only effective treatment for celiac disease is to follow a strict gluten-free diet based on the complete exclusion of gluten-containing foods. Such a diet helps to restore the structure and function of the intestine, as well as improve the general condition of the patient. Nowadays, a gluten-free diet is becoming increasingly popular not only among people with celiac disease, but also among consumers who lead a healthy lifestyle.

Keywords: gluten-free flour, celiac disease, glycemic index, diet, gluten, protein, functional foods.

References

1. Kusainov R. Kazakhstan and The Cis Countries Ways to Increase Bread Production // Science Bulletin. – 2024. – No. 12(81).
2. Aliev T.M. Dinamika urovnya zhizni naseleniya v Kazakhstane (potreblenie produktov pitaniya) [Dynamics of the standard of living of the population in Kazakhstan (food consumption)] // Moscow University Bulletin. – 2015. – No. 13. – P. 16-33. [in Russian].
3. Mikhalik D.S., Zhukov G.V., Nikolaenkova L.I., Kozlova I.S., Bogdanova T.A. Tseliakiya: bolezn' i obraz zhizni [Celiac disease: illness and lifestyle] // Zemskiy vrach [District Physician]. – 2017. – No. 4. – P. 50-51. [in Russian].
4. Lebwohl B., Sanders D.S., Green P.H.R. Coeliac Disease // Lancet. – 2017. – Vol. 391. – P. 70-81.
5. Leonard M.M., Cureton P.A., Fasano A. Managing coeliac disease in patients with diabetes // Diabetes, Obesity and Metabolism. – 2015. – Vol. 17. – No. 1. – P. 3-8.
6. Iskakov B.S., Kapasova A.T. Kliniko-laboratornye aspekty diagnostiki tseliakii u vzroslykh [Clinical and laboratory aspects of celiac disease diagnosis in adults] // Medicine. – 2017. – Vol. 9. – No. 183. – P. 44-50. [in Russian].
7. Shiha M., Sanders D. What is new in the management of coeliac disease? // European Journal of Internal Medicine. – 2025. – Vol. 134. – P. 1–8.
8. Dombrovskaya Ya.P., Aralova S.I. Razrabotka retseptur bezglyutenovykh muchnykh kulinarnykh izdeliy povyshennoy pishchevoy tsennosti [Development of formulations for gluten-free flour-based culinary products with enhanced nutritional value] // Proceedings of Voronezh State University of Engineering Technologies. – 2016. – No. 4. – P. 142. [in Russian].
9. Singh P., Arora A., Strand T. Global Prevalence of Celiac Disease: Systematic Review and Meta-analysis // Clinical Gastroenterology and Hepatology. – 2018. – Vol. 16. – P. 823-836.e2.
10. Kulushtaeva B.M. Kompozitsiyalyk un kosylgan glyutensiz nannyn kauipsizdigin kamtamasyz etu [Ensuring the safety of gluten-free bread with the addition of composite flour]: PhD dissertation. – Semey, 2023. – 178 p. [in Kazakh].
11. Kulushtaeva B.M., Nurymkhan G.N., Moldabaeva Zh.K. Preimushchestva ispol'zovaniya pshenichnogo krakhmala v khlebopekarnoy promyshlennosti i ee pishchevaya bezopasnost' [Advantages of using wheat starch in the baking industry

and its food safety] // Pishcha. Ekologiya. Kachestvo [Food. Ecology. Quality]: Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference. – Barnaul, 2019. – P. 96-100. [in Russian].

12. Kulushtaeva B.M., Nurymkhan G.N. Izuchenie amarantovoy muki dlya polucheniya khlebobulochnykh izdeliy [Study of amaranth flour for the production of bakery products] // Nauka i proizvodstvo: sostoyanie i perspektivy [Science and Production: Current State and Prospects]: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. – Kemerovo, 2017. – P. 40-44. [in Russian].
13. Esengazieva A.N., Uzakov Ya.M. Proteolittik fermentti paidalanıp shuzhyk onimderinin ondiristik uderisin ontailandyru [Optimization of the sausage production process using a proteolytic enzyme] // Shakarim University Bulletin. Technical Sciences. – 2025. – No. 2(18). – P. 186-193. [in Kazakh].
14. Uzakov Ya.M., Esengazieva A.N., Tlevlesova D.A., Kaimbaeva L.A., Kaldarbekova M.A. Razrabotka matematicheskoy modeli prognozirovaniya kachestva polukopchenykh kolbas iz govyadiny vtorogo sorta [Development of a mathematical model for predicting the quality of semi-smoked sausages made from second-grade beef] // Bulletin of Almaty Technological University. – 2023. – Vol. 1. – No. 3. – P. 109-117. DOI: 10.48184/2304-568X-2023-3-109-117. [in Russian].
15. Capelli A., Oliva N., Cini E. A systematic review of gluten-free dough and bread: Dough rheology, bread characteristics, and improvement strategies // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10. – Art. 6559. DOI: 10.3390/app10186559.
16. Horstmann S., Lynch K.M., Arendt E.K. Starch characteristics linked to gluten-free products // Foods. – 2017. – Vol. 6. – Art. 29.
17. Palabiyik I., Yildiz O., Toker O.S., Cavus M., Ceylan M.M., Yurt B. Investigating the addition of enzymes in gluten-free flours—The effect on pasting and textural properties // LWT – Food Science and Technology. – 2016. – Vol. 69. – P. 633-641.
18. Motahar S.F.S., Ariaeenejad S., Salami M., Emam-Djomeh Z., Mamaghani A.S.A. Improving the quality of gluten-free bread by a novel acidic thermostable α-amylase from metagenomics data // Food Chemistry. – 2021. – Vol. 352. – Art. 129307.
19. Haghighat-Kharazi S., Kasaai M.R., Milani J.M., Khajeh K. Microencapsulation of α-amylase in beeswax and its application in gluten-free bread as an anti-staling agent // Food Science and Nutrition. – 2020. – Vol. 8. – P. 5888-5897.
20. Zhao F., Li Y., Li C., Ban X., Cheng L., Hong Y., Gu Z., Li Z. Co-supported hydrocolloids improve the structure and texture quality of gluten-free bread // LWT. – 2021. – Vol. 152. – Art. 112248. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112248.
21. Skendi A., Papageorgiou M., Varzakas T. High-Protein Gluten Substitutes in Gluten-Free Bread // Foods. – 2021. – Vol. 10. – No. 8. – Art. 1997. DOI: 10.3390/foods10091997.

ҒТАМР 65.59.91

Х.А. Аубакиров[1] – *негізгі автор*,
М.Д. Бутаев[2], **М.Т. Сулейменова**[3],
М.Д. Кенжеходжаев[4], **А.Т. Даулетбекова**[5]

©

[1]*Ауыл шаруашылығы ғылым. канд., профессор,*
[2]*Ауыл шаруашылығы ғылым. канд., қауымдас. профессор,*
[3]*Биол. ғылым. канд., қауымдас. профессор,*
[4]*Техн. ғылым. канд., қауымдас. профессор,*
[5]*Ауыл шаруашылығы ғылым. канд., профессордың ассистенті*

ORCID
[1]*https://orcid.org/0000-0003-2670-4834* [2]*https://orcid.org/0009-0004-9569-9412*
[3]*https://orcid.org/0000-0002-1525-6573* [4]*https://orcid.org/0000-0001-6924-4589*
[5]*https://orcid.org/0009-0008-8818-9755*

[1,4]*М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан*
[2,3,6]*Мирас университеті, Шымкент, Қазақстан*
[5]*Ш. Мұртаза атындағы Халықаралық Тараз университеті, Тараз, Қазақстан*

@ [1]*khamit.aubakirov.1957@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/GTNS3728

ТҮРКІСТАН ОБЛЫСЫ САЙРАМ АУДАНЫНДАҒЫ ЕТ ӨНІМІ ӨНДІРІСІ ЖӘНЕ ОНЫҢ ҚАЛДЫҚ ӨНІМДЕРІН ӨҢДЕУ МӘСЕЛЕЛЕРІ

Аңдатпа. Ет өнеркәсібінің негізгі мақсаты – ауыл шаруашылығының жануар тектес шикізатын кешенді және бірізді өңдеуді қамтамасыз ететін өндірістік кешендерді ұйымдастыру болып табылады. Негізгі өнім ретінде ет алынғанымен, сонымен қатар әртүрлі тағамдық май түрлерін қамтитын ілеспе өнімдер де өндіріледі. Бұдан бөлек, негізгі өніммен қатар тағамдық емес қосалқы өнімдер мен техникалық шикізат түзіледі, олар кейіннен мал азығын, тағамдық және техникалық альбумин, сабын, желатин және басқа да өнімдерді өндіруге бағытталады. Мақалада Түркістан облысы Сайрам ауданындағы ет өнімдері өндірісінің қазіргі жағдайы мен даму перспективалары қарастырылып, қайта өңдеу өндірісінде жеткілікті деңгейде пайдаланылмай отырған факторлар анықталып, оларды тиімді қолданудың маңыздылығы негізделген.

Тірек сөздер: ет өнеркәсібі, қайта өңдеу өндірсі, қоректік заттар, азықтық қоспа, ірі қара малы, қой-ешкі шаруашылығы, етті қалдықтар, сүйек мөлшері, қан сұйықтығы, қой қаны, ірі қара қаны, шикізат, орташа салмақ, қасапхана, бордақылау.

Аубакиров, Х.А. Түркістан облысы Сайрам ауданындағы ет өнімі өндірісі және оның қалдық өнімдерін өңдеу мәселелері [Мәтін] / Х.А. Аубакиров, М.Д. Бутаев, М.Т. Сулейменова, М.Д. Кенжеходжаев, А.Т. Даулетбекова // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №2(92). – Б.161-171. https://doi.org/10.55956/GTNS3728

Кіріспе. Ет өнеркәсібі ауыл шаруашылығымен тығыз байланыста болғандықтан, ауыл шаруашылық жануарлары санының азаюы және шикізат базасының толықтай игерілмеуі, осы саланың дамуына кері әсерін тигізуде. Бүгінде бұл саланың көптеген аспектілері ет пен құс етінің импортына байланысты. Өңдеу кәсіпорындарын жолға қоюдың келеңсіз тәжірибесін де

атап өткен жөн. Өйткені, шаруашылықтардағы ет – көп жағдайда екіншілік сүйек пен етті қалдықтар сияқты шикізат өнімдері пайдаланылмай келе жатқаны өкінішті жағдай. Өндірістің санитарлық деңгейінің төмендігін де екіншілік шикізат өнімдерін толық пайлануды тежейтін фактор екенін айта кеткен жөн.

В.М. Горбатов атындағы ВНИИМП-да азықтық байытқыш, құрғақ өсімдік-жануарлар, ақуыз-өсімдік, ақуыз-көмірсутек жемін (БУК) ала отырып, ірі қара малы ашытқысын өңдеудің биотехнологиялық тәсілдері әзірлеген. 83-85°С температурада және алынған субстанцияны кейіннен сүт қышқылды бактериялармен еріту барысында термоөңдеу мен сілтілі гидролизді пайдалану неғұрлым қызықты болып табылады. Нәтижесінде құрамында жоғары сіңімді ақуыз бар биомасса пайда болады. Онда протеин 18,5% -ға, азотсыз экстрактивті заттар 41% -ға көп болса, бұрын ұсынылған ақуыз-көмірсутек жеміне қарағанда ірі талшық мөлшері 28% -ға азайған [1].

В.П. Ковтун [2] дерегінше ерітілген майды және оның фракцияларын жаңа әзірленген қондырғыны қолдана отырып, тауық майы қалдықтарынан алу технологиясы жасалған. Сондай-ақ, құс фабрикаларының қалдықтарын микробтық ақуыз – азықтық ашытқы продуценттерін өсіру үшін пайдалану мүмкіндігі көрсетілген. Тұнба минералды қоректендіру негізі ретінде пайдаланылады, ал көмірсутектердің көзі сыра бытырасы болып табылады. Дайын өнімде шикі протеиннің құрамы – 35-40% көлемінде болған.

Жыл сайын Ресейдің ет өндірісі саласында 1 миллион тоннаға жуық екіншілік өнім ресурстары іске асырылмай, оның тек 20%-ға жуығы өнеркәсіптік жағдайда қайта өңделеді екен. Қазіргі кезде осыған ұқсас жағдай біздің елімізде де қалыптасқан. Қазақстан аграрлы мемлекет және мұнда мал шаруашылығының даму болашағы өте зор. Дегенмен, мал шаруашылығы өнімдеріне әлі де толыққанды өңдеу технологиясының жетіспей жатқан тұстары көп. Атап айтқанда, ет өндірісінің қалдық өнімдерін қайта өңдеу жұмыстары мүлде қолға алынбай қалған десе болады.

Х.А. Аубакиров [3,4] мәліметінде Шымкент облысының Арыс қаласы маңынағы Задария елді мекеніне жақын аумақта жануарлардың өліктерін өңдейтін комбинат жұмыс істегенін, және онда ет-сүйек ұны сықты жем құрамасы жасалғанын келтіреді. Шымкент, Алматы, Астана, Тараз, Қарағанды сияқты еспубликаның ірі қалаларында жануарларды сою негізінен жабдықталған алаңдарда, жергілікті базарлардың, комбинаттардың арнайы сою цехтарында жүргізілетіндігін және онда жемдік қоспалар ретінде мал сою барысында қалатын қалдықтарды өңдеп малазықтық қоспалар ретінде пайдалану мүмкіндігіне тоқталады.

В.Н. Русан, Е.А. Милаш [5] Беларус республикасының ет өнеркәсібі үшін анаэробты ашытуға (биогаз алу кезінде) ұшырайтын қалдықтар биомассасының энергетикалық әлеуетін есептеді. Бұл ретте биогазбен қатар, бұл тәсіл арқылы экологиялық қауіпсіз тыңайтқыштарды алуға мүмкіндік беретіні анықталған.

М.Л. Файвишевский [6] жүргізген зерттеулерінде дәстүрлі сүйек ұнын пайдалануға қарағанда, жаңа технология бойынша өңделген сүйек ұны бар рационды қолдану – жануарлардың тірі салмағының өсуін 6,2%-ға жоғарылатса, жемшөп шығынын 1 кг салмаққа 0,3 азық бірлігіне төмендеткенін келтіреді. Жаңадан жасалған қалдықсыз технология бойынша өңделген протеиннің, майдың және сүйек ұны жасұнығының сіңірілуі тиісінше 3,5, 26,4 және 54,3%-ға жоғары екені анықталған. Сүйек ұнын

өндірудің әзірленген технологиясының артықшылығын гематологиялық зерттеулер де көрсетті. Мысалы, тәжірибелік жануарлардың қанындағы гемоглобиннің құрамы бақылау тобындағы жануарларға қарағанда жоғары болды. Алынған нәтижелер қалдықсыз технология бойынша сүйек ұнын өндірудің жаңа әдістемесінің тиімділігін, оны фосфор-кальций тұздары ғана емес, сіңірілетін протеин көзі ретінде пайдалану мүмкіндігін көрсетеді.

М.Х. Байгельдиева, Х.А. Аубакиров, Д. Кенжеходжаев [7,8] түрлі жануарлар қалдықтарының сынамалары құрамындағы ылғалдылық көрсеткішін, ақуыз, шикі май және күл мөлшерін анықтау нәтижелерін келтіреді. Атап айтқанда, құлын ұнындағы май мөлшері – 9,6%, бұзау ұнындағы май мөлшері – 8,0% және сүйек ұнындағы май мөлшері – 31,7% құраған. Зерттеу барысында сүйек ұнынан дайындалған үлгі майға бай келсе (31,7%), ең аз көлемді шикі май (8,0%) бұзау шаранасынан дайындалған ұн үлгісінде екендігі анықталды. Авторлар, ауыл шаруашылығы жануарларын союдың қалдық өнімдерін қайта өңдеу арқылы жаңа құрама жем қоспасы әзірленіп, соның негізінде бройлерлік балапандардың салмағын тез өсіретін рецептура жасауға мүмкіндік беретінін келтіреді.

Мақала мақсаты – Түркістан облысы, Сайрам ауданындағы «Қарабұлақ» мал сою бекеттері мысалындағы ет өндірісі көрсеткіштерін негізге ала отырып, жалпы ет өндірісі қалдық өнімдерін неғұрлым ұтымды пайдалану, сондай-ақ өндірілетін өнімнің көлемі мен түр-түрін ұлғайтуға мүмкіндік беретін мал шаруашылығы шикізатын кешенді қайта өңдеу мәселелерінің песпективасын негіздеу.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Зерттеу жұмыстары М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті мен Шымкент қаласындағы «Мирас университеті» ғалымдары тарапынан жүргізілді. Түркістан облысы Сайрам ауданы бойынша ет өнімдері өндірісінің көлемі жөніндегі мәліметтер облыстық ауыл шаруашылығы басқармасы мекемесі деректеріне [9] сүйеніп жасалынды. Жануалардың қан сынамаларын алу және олардың құрамын анықтау стандарттық талаптарға негізделеді:

– ГОСТ 33674-2015 «Қан және олардың өнімдері»
– ГОСТ 9231910 «Сойылған жаруарлар қаны»
– Ветеринариялық-санитариялық талаптар. «Сойылатын жануарларды ветеринариялық тексеру және ет пен ет өнімдерін ветеринариялық-санитариялық сараптау қағидалары». 27.12.1983 ж. Талдау нәтижелері бойынша алынған сандық мәліметтерін өңдеу жұмыстары вариациялық статистика әдістері [10] бойынша есептелді.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Түркістан облысы Сайрам ауданындағы ет өнімдері өндірісінің жағдайы бойынша мониторинг жұмыстары жүргізілді. Жинақталған мәліметтерге сай 2024-2025 жылдары Түркістан облысында ет өндірісі мен оның экспортының өсімі байқалады. 2024 жылдың алғашқы 9 айында өңірде 153,2 мың тонна ет өндірілді. Түркістан облысы ет экспорты бойынша көшбасшы болып қалуда, оның үлесіне Қазақстанда экспортталатын ірі қара мал етінің (ІҚМ) 80%-ы және қой етінің 75%-ы тиесілі. 2024 жылдың 7 ай ішінде 6,9 мың тонна сиыр еті және 4,7 мың тонна қой еті экспортталған. Ет экспортының негізгі нарықтары Өзбекстан, Иран және Тәжікстан мемлекеттері.

Қазіргі кезде аталған өңірде ірі қара малына арналған 9183 бордақылау алаңы жұмыс істейді, соның ішінде сыйымдылығы 400-ден 1000-ға басқа дейінгі 35 ірі алаңдар бар. Арыс қаласында 25 мың бас ірі қара малын бордақылауға арналған кешен құрылады деп жоспарлануда. Осылайша,

Түркістан облысы Қазақстанның ірі ет өңірі ретіндегі өз позициясын нығайту бағытында инфрақұрылымды дамытып, экспорттық әлеуетін арттыру жұмыстарын сәтті жалғастыруда.

Сайрам ауданы – Түркістан облысындағы жер көлемі бойынша ең кіші аудандардың (аумағы 1,1 мың км²) бірі болып саналғанымен, халық саны 231,9 мың адамды (2023) құрайды, яғни халқы тығыз қоныстанған (1 км^2-ге 135 адамнан) болып есептеледі. Халықты ауыл шаруашылық өнімдерімен қамтамасыз етуде ауданда мал шаруашылығы бойынша ет, сүт өндіру, шошқа, құс өсіруге мамандандырылған. Түркістан облысында ауыл шаруашылық тауарын өндіруде ауданның үлесі 8,4%-ды құрайды. Облыс көлеміндегі ірі қара малдың 18,4%, сиырдың 14,7%, қой мен ешкінің – 6,4%, шошқаның – 30,1%, жылқының – 13,4% Сайрам ауданында шоғырланған. Сайрам ауданының ауыл шаруашылығындағы жалпы өнімінің 44,1%-ын ет, сүт, жұмыртқа өндірісі құрайды. Аталған ауданнан Өзбекстан, Иран, Ресей мемлекеттеріне 465 бас мүйізді ірі қара мен 75 бас жылқы, 57 бас уақ мал тірідей сатылған. Сондай-ақ, 506 тонна сиыр мен 71,4 тонна қой еті сойыс салмағында экспортталған.

2025-2026 жылдары Сайрам ауданында қуаттылығы 1500 бас жететін ірі қара малын сою және қайта өңдеу кешенін, сондай-ақ мал биржасын іске қосу жоспарлануда.

Ет комбинаттары мен мал сою бекеттерінің қалдықтарын екі фракцияға бөлуге болады: қатты қалдықтар (өндірісте шамамен 15%) және сұйық немесе жартылай сұйық қалдықтар (өндірісте 85%). Осындай, жануарлардан алынатын екіншілік өнімдер қоректік және минералдық заттардың құрамына өте бай. Қаңқа сүйектері, құйрық, жал, кеңірдек, өкпе, көкбауыр, аяқ сирақтары, қан, жыныс мүшелері, желіні, сылып тасталған түрлі бездер ары қарай қолданыс таппағандықтан, кәдеге аспай қоқыс ретінде шығарып тасталады. Сонымен қатар, сүйек ұлпалары кальций, фосфор және басқа да минералдық заттарға бай. Әр сойылған жылқының төрт сирағының салмағы 8-10 кг аралығында. Тек жылқылардың 100 мл қанында 55-95 мг креайтанин, 1,2-1,9 мг натрий, 200,0 мг калий, 170, 0 мг кальций, 4,0 мг магний, 4,0 мг темір, 58,0 мг хлорид, 280 мг жалпы фосфат болса, ал қан сарысуындағы жалпы ақуыз 6,8 гр, каротин 100,0 мкг, А дәрумені 12,0 мкг, С дәрумені 0,5-1,5 мкг шамасында [8]. Осындай пайдаланылмайтын қалдықтарды ұтымды қайта өңдеу арқылы ауыл шаруашылық жануарларын, құстар мен балықтарды азықтандыруда пайдалануға арналған органикалық заттар мен минералдық элементтерге бай теңгерімді жемдік қоспаларын да алуға болады. Бұдан басқа, тек белгілі бір буаздық кезеңіндегі (55-100 күн) биелердің қанында гонадотроптық гормондар бар, оларды гормондық дәрмектер (СЖК, КЖК, гонадотропиндер) ретінде жануарлардың (сиырлардың, қойлардың, шошқалардың) төлшеңдік қабілетін және өсімін арттыру үшін табысты пайдалануға болады. Буаз бие, сиыр және уақ малдарды сою барысында да буаздық мерзіміне байланысты түрлі салмақтағы (50 гр нан 10,20,30 кг дейін) өлі шарана да шығарылып тасталады. Сонымен бірге бездері, өкпесі, жылқы терісінде қалып кететін құйрығы – 0,8-1,1 кг және т.б. шығу тегі ет қалдықтары да қоқысқа тасталады. Орта есеппен сойылымға түскен жануарлардың тең жартысының ұрғашы жынысты және оларда ірі қара малы, жылқы және уақ малдардың бестен бір үлесінің буаз болып келетіндігін ескере келе, орта есеппен 3-4 айлық өлі эмбриондар алынатындығы (4 айлық ірі қара эмбрионы ≈ 1,5 кг,

жылқы эмбрионы ≈ 2,2 кг, 2- 3 айлық уақ малда ≈ 1,5 кг) ескере келе, етті қалдық мөлшерін де анықтауға болады. Сонымен қатар, сойылымға түскен ірі қара мен жылқының әрқайсысында (шамамен ≈ 0,8 кг) құйрығы етімен қалып кетеді. Сонымен қатар жыныс мүшелері, желіні, түрлі бездер мен қанталап кеткен ет кесінділері сияқты қалдықтар да қоқысқа тасталады.

Кесте мәліметінен, 2023 жылы сойылған малдар саны – ірі қара малы – 71,0 мың, қой-ешкі -169,0 мың, жылқы – 13,2 мың болған. Жалпы көлемі 38 085,2 тн тірі салмақта ет өндірілсе, оның ішінде – 26 270,0 тн ірі қара малы, 6761,1 тн қой, 4940,1 тн жылқы, 4,7 тн/шошқа және 109,3 тн құс еті, 103 176,6 тн сүт өндіріліп, 16 908,0 мың дана жұмырта алынған.

Кесте 1

Сайрам ауданы бойынша ет өндірісінің көлемі

№	Ауыл шаруашылық жануарлары	2023 жылы		2024 жылы	
		Сойылған мал (құс), мың бас	Ет өндірісі, тн	Сойылған мал (құс), мың бас	Ет өндірісі, тн
1	Ірі қара малы	71,0	26 270,0	105,2	39 415,3
2	Қой-ешкі	169,0	6761,1	124,3	5050,8
2	Жылқы	13,2	4940,1	11,8	4507,0
4	Шошқа	76	4,7	122	7,6
5	Құс	16 908,0 мың дана жұмырта	109,3	14 799,2 мың дана жұмыртқа	104,3
Жалпы		-	38 085,2	-	49 085,0

2024 жылы 105,2 мың бас ірі қара малы, 124,3 мың бас қой, ешкі және 11,8 мың бас жылқы сойылған. Жалпы 49 085,0 тн тірі салмақта ет өндірілсе, оның ішінде – 39 415,3 тн ірі қара, 5050,8 тн қой-ешкі, 4507,0 тн жылқы, 104,3 тн/құс және 7,6 тн шошқа еті құраған. Барлығы 140 431,9 тн сүт өндірілген және 14 799,2 мың дана жұмыртқа алынған.

Ғалымдар тарапынан ауыл шаруашылық жануарларының физиологиялық көрсеткіштерінің орташа шамасы анықталған. Мысалы, В. Рихтер., Э. Вернер., Х. Бэр [10] анықтамалығы мәліметі бойынша, ересек ірі қара малында қан сұйықтығы оның дене салмағының 7,7%, жылқыда дене салмағының 7,4-10,0% аралығында, шошқада дене салмағының 4,6% құраса, қойларда әр 10 кг тірілей салмағына 800 мл айналады. Еттен тазаланған сүйектердің салмағы орта есеппен дене салмағының 5-15% құрайды, мүйізді ірі қара мен жылқыда 15% дейін, шошқада 5-10%, уақ малдарда орта есеппен 4 кг етке 1 кг сүйектен келеді. Етке өткізілген алты-сегіз айлық торайлардың орташа салмағын 85 кг деп алып, ұша шығымдылығы 73% құрағанда 2023-2024 жылдары сойылған шошқа саны есебіміз бойынша:

1. $X = \frac{4700 \times 100,0}{73,0} = 6438,36 \div 85 = 76$ бас

2. $X = \frac{7600 \times 100,0}{73,0} = 10411 \div 85 = 122$ бас

Сайрам ауданынындағы ет өндірісінің көлемі 1-кестеде берілген. 1-кесте мәліметтерін негізге ала отырып, аталған аудан бойынша сойылған малдардан алынатын екіншілік қалдық өнімдерінің орташа мөлшерін есептеп шығаруға болады (2-кесте). Мұнда 1,5 жастағы ірі қара малын етке өткізудегі

орташа салмағын 500 кг, 2,5 жасар жылқының орташа салмағын 350 кг, уақ малдың салмағын 50 кг деп алынды.

Аудан көлемінде ауыл шаруашылық жануарларынан алынатын қан сұйықтығын келесі теңдеулер бойынша есептеп шығрамыз:

2023 жыл бойынша

3. Ірі қара малынан алынатын жалпы қан мөлшері $X = 71000 \times 500 = 35500000 \times \frac{7,7}{100} = \frac{2733500}{1000} = 2733,5$ тн

4. Қой-ешкілерден алынатын жалпы қан мөлшері $X = 169000 \times 50 = 8450000 \times \frac{0,8}{100} = \frac{67600}{1000} = 67,6$ тн

5. Жылқылардан алынатын жалпы қан мөлшері $X = 13200 \times 350 = 4620000 \times \frac{8,0}{100} = \frac{369600}{1000} = 369,6$ тн

6. Шошқалардан алынатын жалпы қан мөлшері $X = 76 \times 85,0 = 6460 \times \frac{4,6}{100} = \frac{297,16}{1000} \approx 0,3$ тн

2024 жыл бойынша

7. Ірі қара малынан алынатын жалпы қан мөлшері $X = 105200 \times 500 = 52600000 \times \frac{7,7}{100} = \frac{4050200}{1000} = 4050,2$ тн

8. Қой-ешкілерден алынатын жалпы қан мөлшері $X = 124300 \times 50 = 6215000 \times \frac{0,8}{100} = \frac{49720}{1000} = 49,72$ тн

9. Жылқылардан алынатын жалпы қан мөлшері $X = 11800 \times 350 = 4130000 \times \frac{8,0}{100} = \frac{330400}{1000} = 330,4$ тн

10. Шошқалардан алынатын жалпы қан мөлшері $X = 122 \times 85,0 = 10370 \times \frac{4,6}{100} = \frac{477,02}{1000} \approx 0,48$ тн

Кесте 2

Сайрам ауданы бойынша сойылған малдардан алынатын қалдық өнімдердің мөлшері

№	Ауыл шаруашылық жануарлары	Қалдық өнімдер түрлері, тн					
		2023 жылы			2024 жылы		
		Қан сұйықтығы	Сүйек	Етті қалдықтар	Қан	Сүйек	Ет қалдықтары
1	Ірі қара малы	2733,5	-	16,3	4050,2	-	24,2
2	Қой-ешкі	67,6	132,5	25,35	49,72	994,4	18,64
2	Жылқы	396,6	132,0	3,96	330,4	118,0,	3,54
4	Шошқа	0,3	-	-	0,48	-	-
Жалпы		3198,0	264,5	45,61	4430,8	1112,4	46,38

Сойылған жылқының сирақтары тұяғымен бірге қоқыс салатын жерге шығарылып тасталады. Жылқының төрт сирағының жалпы салмағы 10-12 кг аралығында екенін пайымдасақ, сонша сүйек қалдығы іске асырылмай сыртқа тасталады. Мал сою бекетінде сойылған уақ малдың сирақтары да көбінесе үйітілмей қоқысқа тасталады, ол да 0,8-1,0 кг шамасында. Сонымен, сойылымға түскен ауыл шаруашылық жануарларынан алынатын сүйек мөлшерін келесі теңдеулер бойынша есептеп шығрамыз:

2023 бойынша

11. Жылқылардан алынатын сүйек мөлшері $X = 13200 \times 10 = \frac{132000}{1000} = 132{,}0$ тн

12. Қой-ешкілерден алынатын сүйек мөлшері $X = 169000 \times 0{,}8 = \frac{135200}{1000} = 135{,}2$ тн

2024 жыл бойынша

13. Жылқылардан алынатын сүйек мөлшері $X = 11800 \times 10 = \frac{118000}{1000} = 118{,}0$ тн

14. Қой-ешкілерден алынатын сүйек мөлшері $X = 124300 \times 0{,}8 = \frac{99440}{1000} = 994{,}4$ тн

Ірі қараның – 1,5 кг, жылқының – 2,2 кг, уақ малдың – 1,5 кг эмбриондары және ірі қара мен жылқының әрқайсысынан алынатын етті құйрық қалдықтарын – 0,8 кг есепке ала отырып, Сайрам ауданы бойынша сойылымға түскен ауыл шаруашылық жануарларынан алынатын етті қалдықтары мөлшерін келесі теңдеулер бойынша есептеп шығрамыз:

2023 бойынша

15. Ірі қара малынан алынатын етті қалдық мөлшері $X = \frac{71000}{2} = \frac{35500}{5} = \frac{7100 \times (1{,}5 + 0{,}8)}{1000} = 16{,}3$ тн

16. Жылқылардан алынатын етті қалдық мөлшері $X = \frac{13200}{2} = \frac{6600}{5} = \frac{1320 \times (2{,}2 + 0{,}8)}{1000} = 3{,}96$ тн

17. Қой-ешкілерден алынатын етті қалдық мөлшері $X = \frac{169000}{2} = \frac{84500}{5} = \frac{16900 \times 1{,}5}{1000} = 25{,}35$ тн

2024 жыл бойынша

18. Ірі қара малынан алынатын етті қалдық мөлшері $X = \frac{105200}{2} = \frac{52600}{5} = \frac{10520 \times (1{,}5 + 0{,}8)}{1000} = 24{,}2$ тн

19. Жылқылардан алынатын етті қалдық мөлшері $X = \frac{11800}{2} = \frac{5900}{5} = \frac{1180 \times (2{,}2 + 0{,}8)}{1000} = 3{,}54$ тн

20. Қой-ешкілерден алынатын етті қалдық мөлшері $X = \frac{124300}{2} = \frac{62150}{5} = \frac{12430 \times 1{,}5}{1000} = 18{,}64$ тн

2-кесте мәліметтерін сараптау нәтижесінде – етке сойылған ауыл шаруашылық малдарында негізгі өнімнен басқа, көп мөлшерде шығу тегі органикалық қалдықтардың қалатынын көрсетеді. Сайрам ауданы бойынша 2023 жылы сойылатын ауыл шаруашылық малдарынан алынатын қан сұйықтығының жалпы мөлшері – 3198,0 тн; сүйек қалдығы – 264,5 тн; етті

қалдықтары – 45,61 тоннаны құраған. 2024 жылға дәл осындай көрсеткіштерді өз ретімен орналастырсақ: 4430,8; 1112,4; 46,38 тонна шамасын көрсетті. Осындай құрамы органикалық заттарға бай қалдықтардың іске асырылмай қалуы – шаруашылықтарға экономикалық тұрғыдан пайда әкелмесе, қоқыс ретінде сыртқа шығарылуы – экологиялық жағынан қоршаған ортаға зиянын тигізуде. 1-суретте мал сою бекетіндегі қан сұйықтығының кәріз жүйесіне құйылуы көрсетілген.

Сурет 1. Мал сою бекетіндегі қан сұйықтығының кәріз жүйесіне құйылуы

Түркістан облысының Сайрам ауданында Республика жұртын етпен қамтып отырған Қарабұлақ ауылының аты ет өндірісі арқылы белгілі. Бүгінгі таңда аумағы 7 гектарды алып жатқан заманауи үлгіде салынған мал базарына еліміздің түкпір-түкпірінен және Ресей, Украина, Өзбекстан, Монғолия және Қырғызстан елдерінен де мал әкелініп сатылады. 2018 жылдан бастап барлық жағдайы жасалған, толық талапқа жауап беретін әдемі, кең жаңа мал базары жұмыс жасайды. Сатушыларға да, алушыларға да барлық қолайлы жағдай жасап, 4 жерден скважина қазып су шығарылған. Қарабұлақ ауылында зауыт, фабрикалар жоқ. Сондықтан негізінен халықтың 90% мал шарушылығымен және диқаншылықпен айналысады. Ауылда он мыңнан аса үй болса, оның тоғыз мыңға жуығы малмен айналысады. Көбісі малды үй ауласындағы қорада ұстайды. Әкімдік дерегінше, Қарабұлақта 124 мыңнан астам мал басы бар. Оның ішінде ірі қара саны – 22,3 мың бас, жылқы 54 мың, ұсақ мал 86,4 мың бас. Аудан бойынша ірі қара мал басының 47% Қарабұлақ ауылына тиесілі. Ауылдың төлқұжатына қарағанда, елді мекенде 12 қасапхана жұмыс істейді.

Аталған жағдайлар ет өндірісінен түзілетін жанама өнімдер мен қалдықтарды қайта өңдеу мәселесінің өзектілігін арттырады. Осыған байланысты мақалада Түркістан облысы Сайрам ауданындағы ет өнімдері өндірісінің қазіргі жағдайы мен даму перспективалары талданып, қайта өңдеу өндірісінде толық пайдаланылмай отырған ресурстардың әлеуеті бағаланды. Зерттеу барысында Сайрам ауданы бойынша 2023 жылы сойылатын ауыл шаруашылық малдарынан алынатын қан сұйықтығының жалпы мөлшері – 3198,0 тн; сүйек қалдығы – 264,5 тн; етті қалдықтары – 45,61 тоннаны

құраған. 2024 жылға қан сұйықтығының жалпы мөлшері – 4430,8, сүйек қалдығы – 1112,4 тн, етті қалдықтары – 46,38 тонна шамасын көрсетті. Осындай құрамы органикалық заттарға бай қалдықтардың іске асырылмай қалуы шаруашылықтарға экономикалық тұрғыдан пайда әкелмесе, қоқыс ретінде сыртқа шығарылуы – экологиялық жағынан қоршаған ортаға да өз зиянын тигізуде. Халқы тығыз қоныстанған, мал шаруашылығы жақсы дамыған және қасапхана да салыстырмалы түрде бір жерде шоғырланған Қарабұлақ сияқты елді мекенде, жоғарыда келтірілген мал шаруашылығының қалдық өнімдерін өңдеуді іске асыратын технологияларды қолға алу өз тиімділігін көрсетер еді.

Қорытынды. Қазіргі жағдайда ет өңдеу кәсіпорындарында олардың өндірістік қуатын ескере отырып, қалдық өнімдерін өңдеудің ресурс үнемдейтін технологияларын енгізу қажет. Қандай да бір технологияны таңдау кезінде өңделетін еттің түріне байланысты осы шикізаттың морфологиялық және химиялық құрамының ерекшеліктерін, техникалық құралдардың болуын және алынатын өнімді пайдалану және өткізу мүмкіндігің ескерілуі шарт. Елімізде ет өндірісінің қалдық өнімдерін неғұрлым ұтымды пайдалануға, сондай-ақ өндірілетін өнімнің көлемі мен түр-түрін ұлғайтуға мүмкіндік беретін мал шаруашылығы шикізатын кешенді қайта өңдеу схемаларын әзірлеу өзекті болып табылады.

Әдебиеттер тізімі

1. Файвишевский М.Л. Перспективные направления переработки и использования содержимого преджелудков КРС [Текст] / М.Л. Файвишевский // Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья. – 2004. – № 4.
2. Ковтун В.П. Физико-химические исследования топленого жира и его фракций из отходов переработки кур [Текст] / В.П. Ковтун [и др.] // Фармацевтический журнал. – 2004. – № 3.
3. 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.
4. Аубакиров Х.А. Эффективные методы получения и переработки вторичных продуктов животноводства для производства кормовых добавок животных, птиц и рыб [Текст] / Х.А. Аубакиров // «Ғылымдағы инновациялық жетістіктер арқылы студент жастардың қоғамдағы орнын қалыптастыру»: материалы XIX научной конференции. – Тараз: ТИГУ, 23–26 ноября 2010 г. – С. 76-77.
5. Русан В.Н. Отходы животных как дополнительный источник топливно-энергетических ресурсов [Текст] / В.Н. Русан, Е.А. Милаш // Экология и сельхозтехника: материалы 2-й научно-практической конференции. – Санкт-Петербург–Павловск, 2000.
6. Файвишевский М.Л. Переработка кости на мясоперерабатывающих предприятиях [Текст] / М.Л. Файвишевский // Мясная индустрия. – 2010. – № 1. – С. 62-65.
7. Baigeldiyeva M.Kh., Aubakirov Kh.A., Kenzhekhodzhaev D. Results of determining the nutritional composition of meat and bone meals intended for fodder mixture // Mechanics and Technology. – No. 1(83). – P. 24-31.
8. Рихтер В. Основные физиологические показатели у животных и технология содержания [Текст]: справочник / В. Рихтер, Э. Вернер, Х. Бэр. – Москва: Колос, 1982. – 192 с.
9. Сайрам ауданында жыл басынан бері 700 тонна ет экспортталған [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://kaz.inform.kz/news/sayram-audanynda-zhyl-basynan-beri-700-tonna-et-eksporttalgan_a3638484/.

10. Аубакиров Х.А. Биометрия [Текст]: оқулық / Х.А. Аубакиров. – Алматы: ЖШС «Дәуір», 2011. – 467 б.

Материал редакцияға 20.03.25 түсті, 22.05.26 қабылданды.

Х.А. Аубакиров[1], М.Д. Бутаев[2], М.Т. Сулейменова[2], М.Д. Кенжеходжаев[1], А.Т. Даулетбекова[3]

[1]Таразский университет им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан
[2]Университет Мирас, Шымкент, Казахстан
[3]Международный Таразский университет им. Ш.Муртаза, Тараз, Казахстан

ПРОИЗВОДСТВО МЯСНОЙ ПРОДУКЦИИ И ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ ЕЕ ОТХОДОВ В САЙРАМСКОМ РАЙОНЕ ТУРКЕСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. Основной целью мясной промышленности является организация производственных комплексов, обеспечивающих последовательную и комплексную переработку сельскохозяйственного сырья животного происхождения. Основным продуктом является мясо, однако одновременно получают сопутствующую продукцию, включая различные виды пищевых жиров. Кроме того, наряду с основной продукцией образуются непищевые побочные продукты и техническое сырьё, которые направляются на производство кормов для животных, пищевого и технического альбумина, мыла, желатина и других продуктов. В статье рассмотрены современное состояние и перспективные направления развития производства мясной продукции в Сайрамском районе Туркестанской области, а также выявлены недостаточно используемые факторы перерабатывающего производства и обоснована значимость их эффективного применения.

Ключевые слова: мясная промышленность, перерабатывающее производство, питательные вещества, кормовые добавки, крупный рогатый скот, овцеводство и козоводство, мясные отходы, костные остатки, кровяная жидкость, овечья кровь, кровь крупного рогатого скота, сырьё, средняя масса, бойня, откорм.

H.A. Aubakirov[1], M.D. Butaev[2], M.T. Suleimenova[2], M.D. Kenzhekhodzhaev[1], A.T. Dauletbekova[3]

[1]M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan
[2]Miras University, Shymkent, Kazakhstan
[3]International Taraz University named after. Sh.Murtaza, Taraz, Kazakhstan

PRODUCTION OF MEAT PRODUCTS AND PROBLEMS OF PROCESSING THEIR WASTE IN THE SAIRAM DISTRICT OF THE TURKESTAN REGION

Abstract. The main objective of the meat industry is to organize production complexes that ensure the sequential and integrated processing of agricultural raw materials of animal origin. The primary product is meat; however, at the same time, various by-products are obtained, including different types of edible fats. In addition, alongside the main production, non-food by-products and technical raw materials are generated, which are further used for the production of animal feed, edible and technical albumin, soap, gelatin, and other products. The article examines the current state and prospects for the development of meat production in the Sairam district of the Turkestan region, as well as identifies underutilized factors in processing industries and substantiates the importance of their effective use.

Keywords: meat industry, processing industry, nutrients, feed additives, cattle, sheep and goat farming, meat by-products, bone residues, blood liquid, sheep blood, cattle blood, raw materials, average weight, slaughterhouse, fattening.

References

1. Faivishevsky M.L. Perspektivnye napravleniya pererabotki i ispol'zovaniya soderzhimogo predzheludkov KRS [Prospective directions for processing and utilization of ruminant stomach contents] // Storage and Processing of Agricultural Raw Materials. – 2004. – No. 4. [in Russian].
2. Kovtun V.P. Fiziko-khimicheskie issledovaniya toplenogo zhira i ego fraktsiy iz otkhodov pererabotki kur [Physicochemical studies of rendered fat and its fractions from poultry processing waste] / V.P. Kovtun et al. // Pharmaceutical Journal. – 2004. – No. 3. [in Russian].
3. Aubakirov Kh.A. Naladka pererabotki vtorichnykh produktov loshadey – put' k bezotkhodnoy tekhnologii produktov konevodstva [Organization of processing of secondary horse products – a path to waste-free technology in horse production] // Bulletin of the Kyrgyz Agrarian University. – Bishkek, 2011. – No. 1(19). – P. 92-94. [in Russian].
4. 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 secondary livestock products for production of feed additives for animals, poultry and fish] // “Scientific achievements in innovation and the role of students in society”: Proceedings of the XIX Scientific Conference. – Taraz: TIGU, 23–26 November 2010. – P. 76-77. [in Russian].
5. Rusan V.N., Milash E.A. Otkhody zhivotnykh kak dopolnitel'nyy istochnik toplivno-energeticheskikh resursov [Animal waste as an additional source of fuel and energy resources] // Ecology and Agricultural Engineering: Proceedings of the 2nd Scientific-Practical Conference. – Saint Petersburg–Pavlovsk, 2000. [in Russian].
6. Faivishevsky M.L. Pererabotka kosti na myasopererabatyvayushchikh predpriyatiyakh [Bone processing at meat processing enterprises] // Meat Industry. – 2010. – No. 1. – P. 62-65. [in Russian].
7. Baigeldiyeva M.Kh., Aubakirov Kh.A., Kenzhekhodzhaev D. Results of determining the nutritional composition of meat and bone meals intended for fodder mixture // Mechanics and Technology. – No. 1(83). – P. 24-31.
8. Richter V., Werner E., Baer H. Osnovnye fiziologicheskie pokazateli u zhivotnykh i tekhnologiya soderzhaniya [Basic physiological indicators in animals and husbandry technology] [Text]: handbook / V. Richter, E. Werner, H. Baer. – Moscow: Kolos, 1982. – 192 p. [in Russian].
9. Export of 700 tons of meat from Sairam district since the beginning of the year [Electronic resource]. – Access mode: https://kaz.inform.kz/news/sayram-audanynda-zhyl-basynan-beri-700-tonna-et-eksporttalgan_a3638484/.
10. Aubakirov Kh.A. Biometrics [Text]: textbook / Kh.A. Aubakirov. – Almaty: Dauir LLP, 2011. – 467 p. [in Russian].

IRSTI 64.33.14 : 64.01.77

M.Ye. Zhanguzhinova[1] – *main author*,
A.M. Talgatbekova[2], M.T. Omarbekova[3], L. Issabekova[4], T. Aldanayeva[5]

©

[1]PhD, professor, [2,3,4]Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, [5,6]Master of technical sciences, senior lecturer, [7]Master of Arts in Fashion Design

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0002-9124-4099 [2]https://orcid.org/0000-0002-4041-4545 [3]https://orcid.org/0000-0002-6117-1618 [4]https://orcid.org/0009-0007-8588-7905 [5]https://orcid.org/0000-0001-8954-0879*

[1]Temirbek Zhurgenov Kazakh National Academy of Arts, Almaty, Kazakhstan
[2,3,4,5]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

@ *[1]meruyert.zhan@gmail.com*

https://doi.org/10.55956/CYOL1602

QURAQ TECHNOLOGY IN THE CONTEXT OF KAZAKHSTANI ZERO WASTE DESIGN AND ECO-PRODUCTION

Abstract. The article examines the traditional Kazakh patchwork technique, quraq, as a tool for implementing the concept of Zero Waste Design within the contemporary fashion and textile industry of Kazakhstan. The study highlights the potential of transforming ethnocultural heritage into an effective method of waste-free production. Ecological, economic, and socio-cultural challenges of applying quraq in the context of sustainable development are analyzed. The findings demonstrate that quraq is not merely a decorative practice but a fully developed technological model of circular design, enabling the minimization of textile waste and the creation of unique, authentic products. The research employed comparative analysis, experimental design methodology, mathematical modeling of cutting patterns, and visual-morphological analysis. The results show that quraq construction algorithms fully comply with zero-waste cutting principles, and template schemes suitable for automated cutting have been developed. Core technologies for producing quraq modules were systematized, and a comparative analysis of conventional garment production and eco-production based on quraq technology was conducted. In addition, a classification of quraq techniques according to their industrial and artisanal applications was proposed. The study substantiates the scientific value of quraq as an authentic circular design approach and provides practical recommendations for integrating zero-waste technologies into modern textile and apparel production in Kazakhstan.

Keywords: quraq, Zero Waste Design, ecological production, Kazakh ethno-futurism, sustainable fashion, upcycling, ethno-design, zero-waste technologies, circular design.

Zhanguzhinova M.Ye., Talgatbekova A.M., Omarbekova M.T., Issabekova L., Aldanayeva T. Quraq technology in the context of Kazakhstani Zero Waste design and eco-production //Mechanics and Technology / Scientific journal. – 2026. – No.2(92). – P.172-181. https://doi.org/10.55956/CYOL1602

Introduction. *Relevance of the study:* contemporary circular design represents not only an environmentally oriented model of production and

consumption but also a culturally significant phenomenon in which the direction of ethno-futurism plays an increasingly prominent role. Emerging against the backdrop of post-industrial development, ethno-futurism has become a response to global challenges such as the loss of identity, the unification of visual codes, and the disappearance of local craft practices [1]. Within the framework of sustainable design and the circular economy, ethno-futurism performs the function of preserving and transforming cultural codes by integrating national ornaments, materials, and narratives into modern technological processes. This approach not only extends the life cycle of products but also restores visual continuity, linking traditional forms with innovative methods of recycling, upcycling, and modular construction [1,2].

The challenges of studying circular design through the lens of ethno-futurism are relevant both from the perspective of sustainable development and in terms of the cultural policy of the Republic of Kazakhstan and the Concept for the Development of Creative Industries, aimed at strengthening national identity in a globalized world [3,4]. The research problem is defined by the critical level of waste accumulation in Kazakhstan and the urgent need to transition to a cyclical model of environmentally responsible production. In the context of the transformation of the fashion industry, the concept of Zero Waste Design, which eliminates waste generation, acquires particular importance [5-9]. An additional factor of relevance is the development of ethno-futurism, which, in its search for national identity, reinterprets archaic codes (such as *quraq*) and integrates them into modern technological forms aligned with the principles of sustainability. According to the Bureau of National Statistics, in 2024, the volume of municipal waste reached 4.6 million tons, increasing by 11.4% compared to the previous year. The share of textiles in solid household waste is about 7%, while the recycling rate remains extremely low. Most old clothing and inter-pattern fabric remnants are sent to landfills, the number of which exceeds 2,900. The problem lies in the absence of effective mechanisms for recycling textile waste and integrating it into new production cycles [10-12].

Novelty of the study: the research reconsiders the Kazakh applied technique of *quraq* not only as decorative art but also as a tool of circular design. For the first time, *quraq* is examined as a production method that enables the reintegration of inter-pattern fabric remnants into the value-creation cycle, forming a foundation for localized models of eco-production.

Theoretical significance lies in expanding the concept of sustainable development through the inclusion of national practices. The study demonstrates that ethnocultural heritage can be adapted to the goals of the “green economy,” generating new approaches to circular design and environmentally oriented production.

Practical significance is expressed in the development of recommendations for local brands to reduce their ecological footprint through the implementation of traditional zero-waste technologies. The integration of *quraq* into modern eco-production simultaneously addresses the problem of waste and creates a unique cultural product that meets the aesthetic and ethical demands of society, while enhancing the competitiveness of Kazakhstan’s fashion industry in the global market.

Materials and methods. The object of research consisted of textile waste (inter-pattern remnants) from sewing workshops in Almaty, composed of natural fabrics (cotton, silk, denim, wool, calico) and blended textiles. The work was carried out in a design studio simulating the conditions of small-scale eco-production.

Traditional *quraq* artifacts from ethnographic museum collections were used as reference samples, serving as the basis for analyzing geometric assembly schemes.

Research Methods. To achieve the objectives stated, a comprehensive interdisciplinary approach was applied:

– *Comparative analysis:* juxtaposition of principles underlying traditional ornaments (with stable meanings and forms such as Kökpar, Oyuly, Zhapsyrma, Qustumsyq, Sharshy, Shymshyq, Qoshqar müyiz) with contemporary clothing patterns to identify zones of maximum formal correspondence [13-15].

– *Experimental design method:* creation of a prototype collection in the style of ethno-futurism. The process involved sorting textile waste by texture and color, followed by assembling fabric panels without preliminary edge trimming, employing the "chaotic" quraq technique (Shashu, Qyryqqulaq, Quraquzik, Zhuldyzsha, Alasha, Zholaq) [13-15].

– *Mathematical modeling of cutting patterns:* calculation of the fabric utilization coefficient (FUC). Traditional cutting methods (with losses of 15-20%) were compared with cutting incorporating quraq inserts, approaching Zero Waste indicators (losses reduced to less than 1-2%).

– *Visual-morphological analysis:* examination of works by contemporary Kazakh designers to determine the aesthetic demand for ethno-futurist imagery in post-industrial society.

This methodological framework made it possible to assess not only the ecological efficiency of technology but also its scalability under real production conditions.

Research results and discussion. The study yielded the following key findings:

– *Technological efficiency justification:* it was experimentally demonstrated that the integration of modular quraq elements into modern cutting patterns increases the fabric utilization coefficient (FUC) to 98-99%. The most adaptable geometric schemes for industrial Zero Waste were identified as tumarsha (triangles), botagöz (rhombi), sharsha (squares), and zholaq (stripes), which enable effective use of even the smallest inter-pattern remnants with an area of 3-5 cm².

– *Development of the "Ethno-futurist upcycling" model:* a conceptual prototype was designed in which traditional patchwork assembly is combined with modern synthetic materials and oversized silhouettes. The results showed that quraq in the context of ethno-futurism transforms "waste" into a highly artistic fabric with a unique texture that cannot be replicated in serial printed production.

– *Economic verification:* labor cost analysis revealed that manual assembly of patchwork panels increases product cost by 40-60%. However, in post-industrial society, this is offset by the product's transition into the category of sustainable luxury. This confirms the hypothesis that a brand's ecological responsibility directly converts into added value and reputational capital.

– *Systematization of zero-waste methods:* it was established that, unlike Western patchwork techniques, Kazakh quraq possesses specific semiotics that allow a brand to transmit cultural codes.

– *Creation of a template database:* a set of schemes suitable for automated layering and cutting of patchwork elements was developed, facilitating the scaling of the technology [13-15] (Table 1).

Table 1

Template schemes suitable for the automation of layering and cutting of patchwork elements in Quraq

«Шашу» – Shashu (Sprinkling)	A composition in which the chaotic arrangement of fabric fragments is transformed into a visual narrative of multiplicity and diversity.
«Көкпар» – Көkpar (Traditional Kazakh equestrian game)	A decorative pattern in which star motifs establish the visual center, while the background amplifies their symbolism.
«Қырыққұлақ» – Qyryqqulaq (Fern)	An ornament that stylizes the natural spirals of the fern, transformed into an artistic symbol of resilience and cyclicality.
«Алаша» – Alasha (striped carpet)	A composition based on the rhythmic alternation of stripes, generating the dynamics of a contrasting chromatic dialogue.
«Оюлы» – Oyuly (ornamented)	A composition in which the inclusion of oyu transforms the patchwork fabric into a visual text that reflects cultural memory.
«Жапсырма» – Zhapsyrma (applique)	A composition integrating appliqué inserts that transform the patchwork fabric into a visual text of cultural memory.
«Жолақ» – Zholaq (stripe)	A decorative motif in which the alternation of elongated lines is transformed into a metaphor of the road and the continuity of time.
«Құстұмсық» – Qustumsyq (bird’s beak)	An ornamental structure in which triangular elements serve as artistic markers of flight, renewal, and vital energy.
«Шаршы» – Sharshy (square)	A decorative motif in which the geometry of the square is transformed into a symbol of stability and equilibrium.
«Шымшық» – Shymshyq (sparrow)	A traditional Kazakh motif based on the image of the sparrow, symbolizing vital energy and resilience.
«Quraqүзік» – Quraquzik (patchwork fragment)	A decorative ensemble in which heterogeneous patterns are interwoven into a unified fabric of visual narrative.
«Жұлдызша» – Zhuldyzsha (Starlet)	A patchwork composition constructed in the form of a star, symbolizing light, harmony, and the cosmic origin.
«Қошқар мүйіз» – Qoshqar mүyiz (ram’s horn)	A resilient motif, a recurring pattern that symbolizes strength and fertility.

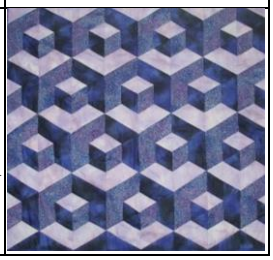
Based on the conducted research, a table of the principal technologies for producing *Quraq* modules in the context of Kazakhstani Zero Waste Design and eco-production has been compiled [13-15], presented below as Table 2.

Table 2

Core Technologies for the Production of *Quraq* Modules

Term/ Technique	Description and Characteristics	Image of the Technique
1	2	3
Quraq (Kazakh patchwork quilting)	Traditional techniques are based on the combination of geometric forms (triangle, rhombus, square, cross, *qoshqar muyiz*). It is distinguished by the symbolism of its ornaments, the contrasting color palette, and the ethnographic significance of each element. Applied in the making of bedspreads, curtains, and decorative panels.	

Table 2 (continued)

1	2	3
Modular Geometry	Modern approach in which the composition is constructed from repeating modules (blocks). It enables the creation of complex ornaments through the combination of simple forms. Frequently, the design is modeled in graphic software prior to sewing.	
Chenille	Technique of creating textured “textile fur” through multilayered fabric overlay, cutting, and fraying. It imparts volume and softness to the product and is applied in clothing, accessories, and decorative panels.	
Appliqué and Decorative Stitches	Overlay of shaped fabric pieces onto a base with securing decorative stitches. It includes both machine and hand stitches (zigzag, “herringbone,” embroidery stitches). Frequently employed in crazy quilt compositions to achieve an artistic effect.	
Textile Weaving	Interlacing fabric strips in a checkerboard or ornamental arrangement. This technique enables the creation of durable and decorative inserts. It is eco-oriented, as it makes use of fabric remnants, and can be combined with traditional patchwork blocks.	
Origami Quilt	A method based on the principles of origami, in which fabric is folded and secured to form pleats, petals, or volumetric geometric shapes. It is distinguished by its three-dimensional effect without the use of additional padding, its decorative quality, and its unusual texture. This technique is applied in wall panels, cushions, and ornamental textile art.	
Scrappy 3D CUBE Quilt	Technique of creating the illusion of three-dimensional cubes from fabric patches. The cube is formed from three rhombi, where light, medium, and dark shades generate a volumetric effect. The “scrappy” approach involves the use of fabric remnants, imparting uniqueness and vibrancy to the piece. This method is applied in bedspreads, panels, and art objects.	

As a result of the experiment conducted, the advantages of Quraq technology were identified and are presented below in the form of Comparative Table 3.

The data presented in the table confirm that the transition to the *quraq* technique not only addresses the ecological problem of waste disposal but also repositions the product from the category of mass consumption into the segment of Sustainable Fashion, which constitutes a key trend in the post-industrial society of Kazakhstan.

Table 3

Comparative Analysis of Traditional Sewing Production and Eco‑Production Based on the Quraq Technique

Comparison Parameter	Traditional Production (Mass Market)	Eco-Production (Zero Waste + Quraq)
Volume of Textile Waste	15-25% (inter-pattern offcuts are sent to landfill)	0-2% (remnants are integrated into the fabric composition of the product)
Product Life Cycle	Short (Fast Fashion, rapid disposal)	*Long* (Slow Fashion, high value and durability)
Cultural Component	Globalized, unified design	*Ethnofuturism:* transmission of national code and authenticity
Economic Value	Low margin at high volumes	High added value through uniqueness (Storytelling)
Technological Approach	Linear (take – make – dispose)	*Circular* (secondary use of resources)
Ecological Footprint	High (solid waste pollution, disposal costs)	*Minimal* (reducing the environmental burden on the region)

The conducted study has made it possible to identify the principal directions of applying the *quraq* technique within the framework of Kazakhstan's Zero Waste Design and eco-production for Slow Fashion and Storytelling:

– *In Slow Fashion*, *quraq* as a technology embodies the principles of Slow Fashion, transforming textile remnants into unique and durable artifacts, where value is defined by manual craftsmanship, cultural symbolism, and waste-free production.

– *In Storytelling* — through *quraq* ornaments, a visual narrative is created, in which each patch preserves generational memory and conveys cultural meanings, turning the garment into a bearer of history and ecological worldview.

Thus, two major directions of applying the technique have been identified: *Tüzü quraq* for the mass market and *Orta quraq* for High Fashion.

– *Tüzü quraq* represents one of the fundamental types of Kazakh patchwork, where composition is constructed upon straight lines and geometrically ordered forms.

– *Orta quraq* (translated from Kazakh as "central patch") is a patchwork technique based on a central compositional structure.

Based on surveys conducted among designers, artisans, manufacturers, and consumers, further quantitative and qualitative indicators will be identified regarding the dependence of technique selection on the specific industry.

The distinctive feature of the results obtained lies in the fact that the *quraq* technique is considered for the first time not as an archaic decorative device but as a high-tech cutting strategy, comparable to Western concepts of Zero Waste Pattern Cutting (T. Rissanen, J. Gwilt). Unlike standard patchwork, Kazakh *quraq* in the context of ethnofuturism enables the preservation of balance between ecological efficiency and the transmission of national values, which is critically important for the post-industrial society of Kazakhstan.

Comparison with earlier studies (for example, works in the field of traditional art history) demonstrates a shift of emphasis: whereas classical scholarship focused primarily on the semantics of ornament, the present study proves the practical applicability of these forms to solving urgent ecological challenges. In contrast to Western upcycling practices, where chaotic aesthetics (deconstruction) often dominate, the proposed method of employing *quraq* allows for the creation of structured and commercially attractive textiles, thereby facilitating their integration into industrial production.

Discussion confirm that the use of patchwork techniques not only reduces the volume of municipal solid waste (MSW) in Kazakhstan at the local level but also creates a unique niche of Sustainable Luxury in the market. This correlates with the global trend of "Slow Fashion," while simultaneously introducing a distinctive regional component that transforms ecological necessity into cultural advantage.

To determine demand and consumer preferences for shaping the commercial attractiveness of the Slow Fashion niche in the Kazakhstani market, a survey was conducted among designers, artisans, manufacturers, and consumers. Based on descriptive and comparative analysis of responses from four target groups (n = total sample size), statistically significant correlations were identified between the professional status of respondents and the preferred patterns of integrating the quraq technique.

1. Quantitative Indicators and Data Structure

The distribution of preferences was analyzed using Pearson's chi-square (χ^2) test to determine the dependence of technique selection on industry (Table 4).

Table 4

Dependence of Technique Selection on Industry

Target Group	Priority Technique	Percentage (%)	Primary Sector of Application
Designers	*«Орта quraq»* – Orta құрақ (Central Composition)	68%	High Fashion, Runway Collections
Craft Artisans	*«Төртқұлақ», «Сегіз жапырақ» – Төртқұlақ, Segiz zhapyrақ*	75%	Home Decor (blankets, quilts, pillows, poufs, ottomans)
Manufacturers	*«Түзу quraq»* (Geometric Grid)	54%	Mass-Market Retail, HoReCa
Consumers	*«Жұлдыз quraq»* (Star-shaped)	42%	Accessories, Gift Products

2. Qualitative Analysis and Interpretation

– *Designers and Artisans:* This group demonstrates a high level of commitment to ethno-identity. Within their responses, aesthetic value prevails over technological efficiency. The primary demand is for the application of the quraq technique in interior design, leather goods, fashion accessories (72%), and art objects.

– *Manufacturers:* Their orientation is toward scalability and cost minimization. Statistical analysis revealed a demand for the simplification of schemes (geometric patterns) to enable industrial assembly. The principal niche identified is textiles for the HoReCa sector (hotels and ethnic-restaurants).

– *Consumer Demand:* A trend toward "everyday ethnos" was identified. Sixty percent of consumer respondents expressed readiness to purchase products incorporating quraq elements in the segment of accessories, leather goods, and fashion accessories (bags, shoppers), provided that high seam quality is ensured.

3. Schematic Distribution of Application Vectors (Correlation Coefficient)

1. *Fashion Industry:* Strong correlation (r = 0.82) with quraq-mosaic techniques involving complex color transitions.

2. *Light Industry:* Moderate correlation (r = 0.45) with simple block structures (Tüzü quraq).

3. *Souvenir Production:* High frequency of references (Moda = 85%) to small-scale ornamental patterns.

Interpretation: the statistical data confirms the hypothesis of diversified demand: while designers seek conceptual complexity (qualitative aspect), manufacturers require pattern optimization for automation (quantitative aspect). The sectoral focus is shifting toward interior design, leather goods, and fashion accessories (38%), followed by apparel (32%).

Conclusion The study demonstrates that the traditional quraq technique has evolved from a craft method into a methodological foundation for advancing the concept of *Zero Waste Design* in Kazakhstan. The developed schemes and templates, integrated into modern CAD systems such as Assyst, Lectra, Grazia, and Gerber, enable the adaptation of patchwork sewing to industrial processes, ensuring technological flexibility, economic efficiency, and high market potential.

The classification of techniques, ranging from Tüzü quraq to Orta quraq, illustrates the applicability of eco-production across diverse segments of the fashion industry from mass-market to high fashion. The established module base applies not only to apparel but can also be scaled into adjacent sectors (HoReCa, Home Décor), thereby expanding the market for producers working under eco-design principles.

Thus, quraq emerges not only as cultural heritage but also as a competitive eco-technology capable of elevating Kazakhstani design to the level of global sustainable fashion standards. Practical recommendations for implementation from parametric templates and automated layout algorithms to digital printing, laser cutting, and marketing storytelling confirm that the technology can be effectively integrated into the industrial cycle, ensuring waste-free production, cost reduction, and the creation of unique product value.

References

1. Zhanguzhinova M.Y., Talgatbekova A.M., Ezieva M.M., Turumkozhayeva Zh.S. The ethnofuturism of Kazakhstan's clothing brand "Global Nomads" in the fashion design // The Journal of Almaty Technological University. – 2024. – No. 4 (146). – P. 193-200. DOI: 10.48184/2304-568X-2024-4-192-201.
2. Kudabayeva A.K., Zhumabaeva A.E. Development of the process of designing a women's collection with the execution of a print of the material in an ethnic style // The Journal of Almaty Technological University. – 2023. – No. 4. – P. 13-18. DOI: 10.48184/2304-568X-2023-4-13-18.
3. Ministerstvo kul'tury i informatsii Respubliki Kazakhstan. Kul'turnaya politika Respubliki Kazakhstan. – Astana, 2014. – 72 p.
4. Pravitel'stvo Respubliki Kazakhstan. Kontseptsiya razvitiya kreativnykh industriy v Respublike Kazakhstan do 2030 goda. – Astana, 2021. – 48 p.
5. Niinimäki K. Sustainable Fashion in a Circular Economy. – Helsinki: Aalto ARTS Books, 2018. – 336 p.
6. Minney S. Slow Fashion: Aesthetics Meets Ethics. – London: New Internationalist, 2016. – 224 p.
7. Bloom P. Circular Fashion: Making the Fashion Industry Sustainable. – London: Laurence King Publishing, 2021. – 224 p.
8. McDonough W., Braungart M. Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things. – New York: North Point Press, 2002. – 208 p.
9. Ceschin F., Gaziulusoy İ. Design for Sustainability: A Multi-level Framework from Products to System Change. – London: Routledge, 2021. – 342 p.
10. KazWaste. Kazakhstani initiatives in the field of waste management] [Electronic resource]. – Access mode: https://kaz-waste.kz/news/895/. Date of access: 25.01.2026. [in Russian].
11. Turan Times. In Kazakhstan, 4.6 million tons of waste were collected in a year: which regions lead in waste sorting] [Electronic resource]. – Access mode: https://turantimes.kz/analytics/59875-v-kazahstane-za-god-sobrali-46-mln-tonn-

othodov-kakie-regiony-lidirujut-po-sortirovke.html. Date of access: 25.01.2026. [in Russian].
12. Business Waste. Textile Waste Facts [Electronic resource]. – Access mode: https://businesswaste.com/waste-types/textile-waste/textile-waste-facts/. Date of access: 25.01.2026.
13. East Kazakhstan Regional Ethnographic Museum. Rakhatova K. Iz basu: Traditional Art [Electronic resource]. – Access mode: https://www.vkoem.kz/index.php/ru/-kz/118-psevkat-/3279-raxatova-kiz-basu-dstrl-olner. Date of acces: 25.01.2026). [in Russian].
14. Shaygozova Zh., Ibragimov A. "Kurak" in Contemporary Art of Central Asia: Symbolic Language and Artistic Text // Central Asian Journal of Art Studies. – 2023. – Vol. 8. – No. 1. – P. 49–65. – DOI: 10.47940/cajas.v8i1.653.
15. Sugirbekova A. Mektep bilim beruine arnalğan ädistemelik materialdar: Quraq — mädeni mura [Methodological Materials for School Education: Quraq — Cultural Heritage]. – Almaty, 2019. – 120 p. [in Kazakh].

Received: 25 January 2026
Accepted: 29 April 2026

М.Е. Жангужинова[1], А.Ж. Талғатбекова[2], М.Т. Омарбекова[2], Л.С. Исабекова[2], Т. Алданаева[2]

[1]Т. Жүргенов атындағы Қазақ Ұлттық Өнер академиясы, Алматы, Қазақстан
[2]Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан

ҚАЗАҚСТАНДЫҚ ZERO WASTE DESIGN ЖӘНЕ ЭКОӨНДІРІС КОНТЕКСІНДЕГІ ҚҰРАҚ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

Аңдатпа. Мақалада дәстүрлі қазақтың құрақ құрау өнері Қазақстанның заманауи сән және тоқыма өнеркәсібінде Zero Waste Design тұжырымдамасын жүзеге асыру құралы ретінде қарастырылады. Зерттеуде этномәдени мұраны қалдықсыз өндірістің тиімді әдісіне айналдыру мүмкіндігі көрсетілген. Тұрақты даму жағдайында құрақ технологиясын қолданудың экологиялық, экономикалық және әлеуметтік-мәдени аспектілері талданған. Зерттеу нәтижелері құрақтың тек сәндік өнер түрі ғана емес, сонымен қатар тоқыма қалдықтарын барынша азайтуға және бірегей, ұлттық ерекшелігі сақталған өнімдер жасауға мүмкіндік беретін циркулярлық дизайнның толыққанды технологиялық моделі екенін дәлелдейді. Зерттеуде салыстырмалы талдау, эксперименттік жобалау, пішім схемаларын математикалық модельдеу және визуалды-морфологиялық талдау әдістері қолданылды. Нәтижесінде құрақ құрастыру алгоритмдерінің қалдықсыз пішу қағидаттарына толық сәйкес келетіні анықталып, автоматтандырылған пішуге арналған үлгілік схемалар әзірленді. Құрақ модульдерін дайындаудың негізгі технологиялары жүйеленіп, дәстүрлі тігін өндірісі мен құрақ технологиясына негізделген экологиялық өндірістің салыстырмалы талдауы жүргізілді. Сонымен қатар, құрақ тәсілдерінің өнеркәсіптік және қолөнер өндірісінде қолданылуына байланысты жіктемесі ұсынылды. Зерттеу құрақтың циркулярлық дизайнның ұлттық әрі тиімді тәсілі ретіндегі ғылыми маңызын негіздеп, Zero Waste технологияларын Қазақстанның заманауи тоқыма және тігін өндірісіне енгізуге арналған практикалық ұсынымдар ұсынады.

Тірек сөздер: құрақ, Zero Waste Design, экологиялық өндіріс, Қазақстандық этнофутуризм, тұрақты сән, апсайклинг, этнодизайн, қалдықсыз технологиялар, циркулярлық дизайн.

М.Е. Жангужинова[1], А.Ж. Талгатбекова[2], М.Т. Омарбекова[2], Л.С. Исабекова[2], Т. Алданаева[2]

[1]Казахская Национальная Академия Искусств им. Т. Жургенова, Алматы, Казакстан
[2]Алматинский Технологический Университет, Алматы, Казакстан

ТЕХНОЛОГИЯ ҚҰРАҚ В КОНТЕКСТЕ КАЗАХСТАНСКОГО ZERO WASTE DESIGN И ЭКОПРОИЗВОДСТВА

Аннотация. В статье рассматривается традиционная казахская техника лоскутного шитья құрақ как инструмент реализации концепции Zero Waste Design в современной индустрии моды и текстиля Казахстана. Показан потенциал трансформации этнокультурного наследия в эффективный метод безотходного производства. Проанализированы экологические, экономические и социокультурные аспекты применения техники құрақ в контексте устойчивого развития. Результаты исследования свидетельствуют, что құрақ представляет собой не только декоративную практику, но и полноценную технологическую модель циркулярного дизайна, позволяющую минимизировать текстильные отходы и создавать уникальную аутентичную продукцию. В исследовании использованы методы сравнительного анализа, экспериментального проектирования, математического моделирования схем раскроя и визуально-морфологического анализа. Установлено, что алгоритмы построения изделий в технике құрақ полностью соответствуют принципам безотходного раскроя, а также разработаны шаблонные схемы, пригодные для автоматизированного раскроя. Систематизированы основные технологии изготовления модулей құрақ, проведено сравнительное исследование традиционного швейного производства и экологичного производства на основе технологии құрақ. Предложена классификация техник құрақ по возможности их применения в промышленном и ремесленном производстве. Обоснована научная значимость техники құрақ как аутентичного подхода к циркулярному дизайну и разработаны практические рекомендации по внедрению технологий Zero Waste в современное текстильное и швейное производство Казахстана.

Ключевые слова: құрақ, Zero Waste Design, экологическое производство, казахстанский этнофутуризм, устойчивая мода, апсайклинг, этнодизайн, безотходные технологии, циркулярный дизайн.

МРНТИ 64.29.23

Л.Ә. Мыңбатырова[1]- *основной автор,*
Р.Ш. Мирзамуратова[2] ©

[1]Докторант, [2]PhD, доцент
[1]https://orcid.org/0009-0004-7208-8408 [2]https://orcid.org/0009-0005-2645-1357
[1,2]Южно Казахстанский Университет им. М. Ауэзова
Шымкент, Казахстан
[2]era05.05@mail.ru

https://doi.org/10.55956/VFFC7979

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРИРОДНЫХ КРАСИТЕЛЕЙ С АНТИМИКРОБНЫМИ СВОЙСТВАМИ В ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Аннотация. В данной статье проведен анализ современных тенденций использования растительных экстрактов в качестве многофункциональных агентов для антимикробной обработки и окрашивания натуральных волокон. Выявлено негативное влияние синтетических биоцидов и четвертичных аммониевых соединений на экологию и здоровье человека, что обосновывает целесообразность перехода к «зеленым» технологиям. Проанализирован фитохимический потенциал лекарственных растений, содержащих флавоноиды и танины, отвечающие за подавление патогенной микрофлоры. Определены оптимальные параметры экстракции биологически активных соединений и механизмы их взаимодействия с текстильными субстратами. Установлено, что применение природных красителей обеспечивает двойной эффект: эстетическое окрашивание и длительную защиту от грамположительных и грамотрицательных бактерий. Обоснована важность функционализации шерстяных и хлопчатобумажных материалов для повышения гигиенической безопасности элементов обуви и одежды. В целях повышения конкурентоспособности текстильной продукции выявлены преимущества и сформулированы перспективные направления использования натуральных экстрактов при обработке сырья природного происхождения. На основе этих данных сделан вывод о необходимости более глубокого изучения эффективности, антимикробных и красящих свойств обработки натуральных волокон и материалов с использованием растительных экстрактов.

Ключевые слова: растительные экстракты, антибактериальная отделка, природные красители, натуральные волокна, экологическая безопасность.

Мыңбатырова, Л.Ә. Современные тенденции в использовании природных красителей с антимикробными свойствами в текстильной промышленности [Текст] / Л.Ә. Мыңбатырова, Р.Ш. Мирзамуратова // Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №2(92). – С.182-196. https://doi.org/10.55956/VFFC7979

Введение. Одной из актуальных проблем современной обувной индустрии является распространенность грибковых заболеваний стоп (микозов), развитие которых во многом связано с повышенной влажностью и недостаточной вентиляцией обувного пространства. Использование

синтетических материалов с низкой воздухопроницаемостью создает условия для размножения патогенной микрофлоры.

В этой связи возрастает значимость натуральных волокон, обладающих гигроскопичностью и потенциальными антимикробными свойствами. К таким волокнам относятся шерсть, хлопок, лен, шелк, конопля и бамбук.

Шерстяные волокна благодаря содержанию кератина и сложной чешуйчатой структуре поверхности проявляют естественную устойчивость к развитию микроорганизмов и обладают высокой способностью к влагопоглощению, что способствует улучшению гигиенических характеристик изделий. Хлопковые волокна, состоящие преимущественно из целлюлозы, отличаются высокой воздухопроницаемостью и гигроскопичностью, что делает их перспективной основой для функциональной отделки с использованием растительных антимикробных агентов. Лен характеризуется прочностью, способностью регулировать влажность и относительной устойчивостью к бактериальному воздействию. Шелк как белковое волокно сочетает биосовместимость и хорошие сорбционные свойства, тогда как волокна конопли и бамбука известны наличием природных биологически активных компонентов и выраженной антимикробной активностью.

Функционализация данных натуральных волокон растительными экстрактами позволяет дополнительно усилить их защитные, гигиенические и эстетические свойства, расширяя возможности их применения в экологически ориентированном текстильном производстве.

В последние годы в научных исследованиях особое внимание уделяется функционализации текстильных материалов посредством обработки природными красителями, обладающими антибактериальной активностью. Растительные экстракты, содержащие флавоноиды, дубильные вещества и эфирные масла, способны придавать волокнам не только декоративные свойства, но и выраженный антимикробный эффект. Применение натуральных красителей на основе лекарственных и дикорастущих растений рассматривается как экологически безопасная альтернатива синтетическим химическим агентам, традиционно используемым для придания текстилю антибактериальных свойств. Интеграция процессов окрашивания и функциональной обработки шерстяных материалов открывает перспективы создания гигиенически безопасных обувных элементов с пролонгированным противомикробным действием.

В последние годы наблюдается заметный рост интереса к устойчивому развитию, особенно в части внедрения экологически безопасных технологий, таких как антибактериальная отделка текстильных материалов [1]. Рынок постепенно отказывается от использования потенциально опасных химических веществ в пользу более экологичных альтернатив [2]. Традиционно применяемые материалы - биоциды, органические силиконы и четвертичные аммониевые соединения - обладают различной степенью риска для здоровья и окружающей среды [3]. По мере роста осведомлённости потребители и производители всё чаще выбирают более безопасные и экологически устойчивые решения. Данный переход способствует не только повышению безопасности, но и формированию более здоровой текстильной отрасли в целом [4].

Натуральные красители применяются не только для придания ткани цвета, но и для улучшения её функциональных свойств. Ткани окрашиваются для создания одежды, домашнего текстиля и медицинских изделий.

Благодаря растительным компонентам, окрашенные ткани получают дополнительную защиту от микроорганизмов, что особенно важно для больничных и гостиничных текстилей. Также они подходят для изготовления одежды для детей и людей с чувствительной кожей, поскольку натуральные красители менее токсичны и аллергичны по сравнению с синтетическими.

Шерсть является одним из приоритетных видов натурального текстильного сырья, обладающим высокими теплоизоляционными, гигроскопическими и гигиеническими свойствами. В условиях глобального перехода к экологически устойчивым материалам интерес к шерстяным волокнам вновь возрастает, что обусловлено их возобновляемостью, биоразлагаемостью и благоприятным воздействием на микроклимат изделий.

В Казахстане прослеживается значительный потенциал в сфере производства шерсти благодаря развитому овцеводству и наличию обширных пастбищных территорий. Овцеводство по праву занимает важное место в аграрном секторе страны и обеспечивает сырьевую базу для легкой промышленности. Несмотря на достаточный объем производства шерсти, уровень глубокой переработки и внедрения инновационных технологий остается недостаточно развитым, что снижает конкурентоспособность отечественной продукции.

Шерсть широко применяется в текстильной промышленности, производстве одежды, технических и интерьерных материалов, а также в обувной отрасли. В обувной промышленности шерстяные материалы используются при изготовлении утепляющих подкладок, стелек, войлочных элементов и формоустойчивых деталей. Благодаря способности удерживать тепло, поглощать влагу и обеспечивать воздухообмен, шерсть способствует формированию благоприятного микроклимата внутри обуви [5].

Современный этап развития текстильной и легкой промышленности характеризуется глобальной трансформацией в рамках концепции «зеленой химии» (Green Chemistry) и активным поиском экологически безопасных альтернатив синтетическим красителям и биоцидам. Традиционное использование четвертичных аммониевых соединений, триклозана и солей тяжелых металлов для придания текстилю антисептических свойств на данном этапе вызывает обоснованные опасения. Основными рисками являются их высокая токсичность, способность к биоаккумуляции в экосистемах и провоцирование роста антибиотикорезистентности патогенных микроорганизмов.

Особую научно-практическую остроту данная проблема приобретает при производстве изделий, контактирующих непосредственно с кожным покровом человека в условиях повышенной влажности и температуры (внутренние детали обуви, стельки, гигиенический текстиль). В такой микросреде создаются благоприятные условия для развития бактериальных и грибковых инфекций, что требует внедрения эффективных, но безопасных методов защиты. В связи с этим, научное обоснование применения фитоэкстрактов, обладающих синергетическим эффектом - природной антимикробной активностью и красящими свойствами - представляет собой высокоактуальную междисциплинарную задачу.

Казахстан, обладая значительным потенциалом возобновляемых ресурсов растительного сырья и развитым сектором переработки шерсти, нуждается в разработке и внедрении инновационных методов функциональной отделки натуральных материалов. Исследование фитохимического профиля растений как источников биологически активных

соединений (флавоноидов, таннинов, алкалоидов) открывает перспективы для создания многофункционального текстиля. Разработка технологий, совмещающих экологически чистое окрашивание и пролонгированную биологическую защиту, позволит минимизировать техногенную нагрузку на окружающую среду и повысить конкурентоспособность отечественной продукции за счет улучшения её гигиенических и эксплуатационных характеристик.

Целью настоящего исследования является проведение комплексного научно-аналитического обзора и систематизация современных подходов к использованию растительных экстрактов в текстильном производстве. Работа направлена на критический анализ мировых практик и выявление перспективных фитоагентов, обеспечивающих эффективную колористическую и биологическую функционализацию натуральных волокон и текстильных материалов в рамках создания экологически безопасных технологий .

Обзор и анализ научных исследований. *Виды растительных экстрактов в качестве многофункциональных красителей и антимикробных агентов для текстильных материалов.* В последние годы антибактериальная отделка волокон и тканей привлекает всё большее внимание, особенно в практическом применении [6]. В ряде исследований показано, что растительные экстракты всё чаще используются в антимикробной обработке в качестве альтернативы традиционным химическим веществам [7]. В качестве растительных источников, обладающих антибактериальными свойствами, упоминаются листья ромашки, куркума, листья нима и другие растения [8].

Ряд исследований свидетельствует о возрастающем использовании растительных экстрактов в антимикробной обработке текстиля в качестве альтернативы традиционным химическим веществам. Натуральные экстракты становятся всё более популярными благодаря их эффективности и меньшей токсичности. В качестве источников растительного сырья часто используются листья ромашки, куркума, листья нима и другие растения, обладающие антибактериальными свойствами. Помимо антимикробной активности, данные экстракты характеризуются экологической безопасностью и биоразлагаемостью [9]. Внедрение подобных растительных компонентов отражает более широкую тенденцию текстильной промышленности к переходу на «зелёные» и безопасные технологии при сохранении высоких стандартов антимикробной защиты.

Ранее проведённые исследования показали, что листья *Rumex steudelii Hochst* могут эффективно использоваться в различных областях [10]. Они характеризуются высоким содержанием эфирных масел, выраженными противовоспалительными и антиоксидантными свойствами. Потенциальные иммуномодулирующие эффекты также обусловили интерес к их применению в медицине и нутрициологии [11]. Такое многообразие свойств подчёркивает ценность данного растения как перспективного природного ресурса.

Несмотря на положительные результаты, связанные с медицинским применением *Rumex steudelii Hochst*, его потенциал в текстильной отрасли, в частности в обеспечении антибактериальных свойств хлопковых тканей, остаётся недостаточно изученным. На сегодняшний день отсутствуют исследования, посвящённые использованию экстракта этих листьев для антимикробной обработки текстиля. Изучение данного направления может расширить сферу практического применения растения и способствовать

созданию более устойчивых и эффективных антибактериальных тканей, отвечающих растущему спросу на безопасные и гигиеничные текстильные изделия.

В настоящем исследовании представлена новая методика долговременной антибактериальной отделки хлопчатобумажных тканей с использованием природных свойств листьев *Rumex steudelii Hochst*. Применение растительного экстракта позволяет снизить экологическую нагрузку по сравнению с традиционными антибактериальными агентами и одновременно повысить функциональные характеристики хлопковых тканей. Использование данного экстракта обеспечивает двойной эффект: выраженные антибактериальные свойства и продвижение экологически ответственных практик в текстильной промышленности. Разработанная технология открывает перспективы создания более безопасных и устойчивых текстильных материалов, соответствующих возрастающим требованиям потребителей к экологически чистой продукции.

Особое внимание в данном исследовании уделено листьям *Rumex steudelii Hochst*, которые были собраны в городе Вольките и использованы в качестве природного антибактериального агента для улучшения антимикробных свойств хлопковой ткани [10]. Ранее было показано, что листья *Rumex steudelii Hochst* характеризуются высоким содержанием эфирных масел, выраженными противовоспалительными и антиоксидантными свойствами, а также потенциальными иммуномодулирующими эффектами. Антибактериальные свойства данного растения связывают с наличием таннинов и флавоноидов в экстракте листьев [11]. Для окрашивания тканей и придания им функциональных свойств используются разнообразные растения, богатые природными пигментами и биологически активными веществами. Среди них гранат (*Punica granatum*) – источник танинов и хаки–оттенков, орех бета (*Areca catechu*) – для насыщенных розовых тонов, чай (*Camellia sinensis*) – бежевых оттенков, луковая шелуха (*Allium cepa*) – мягких розовых, эвкалипт (*Eucalyptus cinerea*) и ним (*Azadirachta indica*) – зелёных и золотистых оттенков. Меньше распространённые растения включают арджун (*Terminalia arjuna*), миробалан (*Terminalia chebula*), дикую мангостину (*Diospyros peregrina*) и цветок красителя (*Coreopsis basalis*), которые создают уникальные цвета и обладают различной биологической активностью.

В настоящем исследовании использовались листья растения *Justicia schimperiana*, собранные в Wolkite, Эфиопия. Это растение известно своими фармакологическими свойствами: листья использовались для получения эфирных масел, проявляющих антиоксидантную, противовоспалительную и иммуномодулирующую активность, а также антибактериальные свойства [12]. Листья содержат разнообразные пигменты, включая флавоноиды, таннины, антрахиноны и индигоиды [13]. Среди этих компонентов флавоноиды встречаются наиболее часто и подразделяются на флавонолы, флаваноны и антоцианы, которые отвечают за формирование широкого спектра коричневых, жёлтых и зелёных оттенков.

Оптимизация параметров экстракции и крашения текстильных материалов природными экстрактами. Окрашивание – это древнее искусство, которое существует задолго до появления письменности. Первоначальные техники включали приклеивание растений к ткани или втирание растертых пигментов в ткань. Со временем развились методы использования природных красителей и повышения устойчивости цвета к

воде (цветоустойчивости). До конца XIX века натуральные красители были основными красителями для текстиля. В настоящее время синтетические красители заменили натуральные благодаря своим свойствам: широкому спектру цветов, высокой воспроизводимости и улучшенному качеству тканей, достигаемому при меньшей себестоимости [14].

Традиционно ткани окрашивали с использованием природных материалов, легко доступных в окружающей среде. Природа предоставила богатое разнообразие растений, животных и минералов, которые могут использоваться для окрашивания текстиля [15]. Как отмечает Ванкар, природные красители получают из разных частей растений, включая листья, плоды, корни, кору и т.д. В отличие от синтетических красителей, природные красители из растений и других источников могут состоять из множества химических компонентов. Эти компоненты могут демонстрировать разнообразие цветов и свойств как самостоятельно, так и в сочетании с другими группами, в зависимости от их функциональной группы, химического состава и структуры [16]. Красители растительного происхождения в основном содержат пигменты, такие как флавоноиды, антраценоны и индигоиды [13]. Среди них флавоноиды встречаются чаще всего и делятся на флавонолы, флаваноны и антоцианы. Эти флавоноиды ответственны за создание разнообразных оттенков коричневого, жёлтого и зелёного.

Практика использования природных красителей для окрашивания текстильных материалов была возрождена с целью решения экологических проблем, связанных с применением синтетических красителей [17]. Природные красители – это органические соединения, получаемые из растений, минералов или насекомых [18]. Красители из этих источников дают яркие цвета, обладают высокой адгезией к волокнам, экологически безопасны и представляют собой практичный метод окрашивания текстиля. В результате ведутся активные исследования по разработке и использованию этих красителей. Хотя похожие виды деревьев могут существовать в разных регионах мира, их физические и химические характеристики могут существенно различаться из-за зависимости от эволюционных условий конкретного региона [19].

Современные методы экстракции используют передовые технологии для более эффективного извлечения пигментов из природных источников. Эти методы часто применяют растворители, такие как вода, спирт или сверхкритические жидкости, для извлечения красителей из растений, насекомых или других природных материалов [20]. Обычно применяются такие методы, как мацерация, паровая дистилляция, ультразвуковая экстракция и экстракция сверхкритическими жидкостями. Цель современных методов - максимизировать выход пигмента и минимизировать влияние на окружающую среду, сохраняя при этом качество и целостность извлечённых природных красителей.

Мордирование – важный этап природного окрашивания, который включает нанесение солей металлов на хлопковую ткань до окрашивания. Целью мордирования является улучшение стойкости цвета, усиление впитываемости красителя и создание химической связи между красителем и тканью. Распространённые морданты включают квасцы (сульфат алюминия и калия), железо, медь, олово и хром. Мордирование может выполняться предмордированием (обработка ткани перед окрашиванием) или одновременным мордированием (добавление морданта в ванну с красителем)

[21]. Для приготовления красильного раствора растения предварительно сушат и измельчают: используются кора, плоды, листья или орехи. Измельчённый материал варят в воде при температуре 60-70°C в течение часа. После этого полученный отвар фильтруют и используют как краситель. Для повышения фиксации пигмента на ткани применяют мордант – чаще всего алюминиевый, иногда в сочетании с винной кислотой. Мордант помогает равномерно распределить цвет и увеличить его стойкость, предотвращая быстрое вымывание при стирке.

Листья *Rumex steudelii Hochst* были собраны в городе Вольките, тщательно очищены от загрязнений, высушены естественным способом и измельчены до порошкообразного состояния с использованием лабораторной мельницы. После этого порошок использовался для получения антибактериального экстракта.

Для извлечения биологически активных соединений был выбран метод экстракции растворителем, поскольку он отличается меньшим воздействием на окружающую среду, простотой выполнения, высокой эффективностью и сниженной потребностью в воде и температуре по сравнению с другими методами. В качестве растворителя использовалась дистиллированная вода.

Экстракция проводилась при следующих оптимизированных условиях:

- температура 70-90°C
- продолжительность 40-60 минут
- материально-жидкостное соотношение (M.L.R.) 1:20
- масса порошка листьев 10-15 г

Наибольший выход экстракта (56,6%) был получен при температуре 90°C и продолжительности 50 минут. Повышение температуры способствовало увеличению растворимости и диффузии биологически активных соединений [22]. Оптимальное время экстракции составило около 50 минут, поскольку дальнейшее увеличение времени не приводило к значительному росту выхода.

Извлечение натурального красителя из листьев *Justicia schimperiana* выполнялось путем естественной сушки материала при комнатной температуре с последующим измельчением до порошкообразного состояния. Для получения экстракта порошок помещался в дистиллированную воду и подвергался кипячению при температуре 100°C в течение 40-60 минут. Для достижения максимального выхода красителя проводились повторные экстракции.

Современные методы извлечения пигментов включают использование различных растворителей, таких как вода, спирт или сверхкритические жидкости, а также применение техник мацерации, паровой дистилляции, ультразвукового и сверхкритического извлечения [23]. Эти подходы направлены на максимизацию выхода пигмента при минимальном воздействии на окружающую среду и сохранении химической структуры красителя.

Для улучшения фиксации красителя на ткани применялось мордирование с использованием металлических солей - сульфата железа ($FeSO_4$), алюминия ($Al_2(SO_4)_3$) и меди ($CuSO_4$). Мордирование повышает стойкость цвета, улучшает проникновение красителя в волокно и обеспечивает химическое связывание пигмента с тканью.

Согласно литературным данным, процесс получения красителей и последующего крашения целлюлозных волокон характеризуется

вариативностью параметров в зависимости от используемого сырья. В таблице 1 систематизированы типовые условия экстракции, описанные в исследованном источнике [21].

Таблица 1

Типовые условия экстракции

Время (мин)	Температура (°C)	pH	MLR
60	85	6,5	1:20
60	90	6,5	1:20

Полученные экстракты использовались для окрашивания хлопковых тканей при температуре 70-90°C в течение 40-60 минут (Таб. 2). До окрашивания образцы замачивали в горячей воде для равномерного проникновения молекул красителя. После окрашивания ткани промывались холодной водой и подвергались мордированию с $FeSO_4$, $Al_2(SO_4)_3$ и $CuSO_4$ в течение 10 минут при комнатной температуре для улучшения стойкости цвета. Процесс фиксации проводился при комнатной температуре в течение 10 минут. Результаты эффективности окрашивания, выраженные через спектрофотометрический показатель K/S (интенсивность окраски), представлены в таблице 2.

Таблица 2

Экспериментальные условия окрашивания и степень окрашивания (K/S)

№	Температура (°C)	Время (мин)	Конц. красителя (% o.w.f)	pH	MLR	K/S
1	80	60	20	6,5	1:20	3,48
2	90	50	50	6,5	1:20	3,59

Оценка антимикробной активности и эксплуатационной устойчивости текстильных материалов, модифицированных природными фитоэкстрактами. Ежегодно более 13 миллионов смертей во всем мире связаны с появлением новых инфекционных заболеваний или повторным возникновением ранее контролируемых патогенов. Бактериальные инфекции представляют значительную угрозу для общественного здоровья, поскольку многие патогенные бактерии быстро развивают устойчивость к нескольким антибиотикам [24]. Рост антибиотикоустойчивости обусловлен несколькими факторами, включая чрезмерное назначение антибиотиков медицинскими работниками и самолечение. Широкое использование антибиотиков способствует как приобретённой, так и естественной устойчивости, что приводит к многочисленным терапевтическим неудачам по всему миру. По текущим прогнозам, в течение 25 лет почти все бактерии станут устойчивыми к большинству доступных антибиотиков, а инфекции, вызванные антибиотикоустойчивыми микроорганизмами, могут привести к 10 миллионам смертей ежегодно к 2050 году [25].

Антибиотики действуют через четыре основных механизма, чтобы убивать или подавлять рост бактерий: ингибирование репликации ДНК, нарушение синтеза клеточной стенки, вмешательство в синтез белка и ингибирование метаболизма фолиевой кислоты. Однако бактерии выработали различные механизмы сопротивления этим антибиотикам, что снижает эффективность препаратов [26]. Они используют три основных

стратегии: ограничение проникновения препарата и усиление его выведения для предотвращения накопления, модификацию молекул-мишеней и инактивацию антибиотиков с помощью ферментов, таких как бета-лактамазы.

Для борьбы с ростом антибиотикоустойчивости перспективным решением могут стать лекарственные растения. В последнее время исследователи сосредоточились на разработке безопасных и эффективных природных антимикробных средств, поскольку экологические и медицинские риски, связанные с синтетическими антимикробными препаратами, вызывают всё большее беспокойство. Ведутся значительные усилия для изменения этой тенденции, в том числе путем широкого скрининга лекарственных растений из систем традиционной медицины [27].

Традиционно лекарственные растения использовались во всем мире для различных терапевтических целей, включая лечение микробных заболеваний. В 2022 году мировой рынок травяной медицины оценивался в 170 миллиардов долларов, и прогнозируется, что к 2033 году он достигнет 600 миллиардов долларов, что соответствует среднегодовому темпу роста (CAGR) 15% с 2023 по 2033 годы [28]. Способность экстрактов растений подавлять рост патогенных бактерий стала объектом современных исследований, особенно в контексте их потенциала модулировать бактериальную лекарственную устойчивость. Эти исследования могут служить ценным ориентиром для будущих исследований, направленных на обратное развитие микробной устойчивости [29].

Согласно литературе, тысячи видов растений были протестированы in vitro против множества бактериальных штаммов, и значительное количество экстрактов лекарственных растений и чистых соединений доказали активность против грамположительных и грамотрицательных бактерий. Тем не менее, лишь немногие растительные экстракты продемонстрировали значительную антибактериальную активность против тестируемых бактериальных изолятов, что оценивается по их более высоким значениям минимальной ингибирующей концентрации (MIC). MIC определяется как наименьшая концентрация исследуемого антимикробного агента, которая подавляет видимый рост микроорганизма, и обычно выражается в μг/мл или мг/л.

В традиционной медицине экстракты растений с MIC ниже 8 мг/мл считаются активными. Однако значительная антибактериальная активность обычно наблюдается при MIC менее 100 μг/мл, умеренная активность - при 100-625 μг/мл, а низкая активность - выше 625 μг/мл [30]. Несмотря на эти данные, не проводилось комплексное исследование, сосредоточенное именно на растительных экстрактах с MIC ≤ 625 μг/мл. Поэтому настоящая работа направлена на устранение этого пробела, концентрируясь на растительных экстрактах, изученных в период с 2014 по 2024 год, которые демонстрируют значительную или умеренную антибактериальную активность. В статье представлен подробный анализ этих экстрактов лекарственных растений, рассматриваются факторы, влияющие на их антибактериальные свойства, и дается всесторонний обзор их механизмов действия. Освещая последние достижения в этой области, обзор направлен на вклад в развитие растительных антибактериальных средств.

Окрашенные ткани подвергались антибактериальной обработке с использованием экстракта листьев. Эффективность оценивали против *Staphylococcus aureus* (грамположительные) и *Escherichia coli*

(грамотрицательные) методом AATCC 100 и тестом на агаровом геле (Figures 10–12).

Результаты показали, что обработанная ткань ингибировала рост обеих бактерий с зонами торможения 13 мм для *S. aureus* и 12 мм для *E. coli*. После 5 стирок зоны торможения уменьшились до 11 мм и 10 мм соответственно, что указывает на уменьшение эффективности антибактериальной отделки с повторными стирками.

Механизм антибактериального действия связывают с присутствием флавоноидов и танинов в листовом экстракте *Justicia schimperiana,* которые обладают природными антибактериальными свойствами [31].

Результаты показали, что обработанная ткань эффективно подавляла рост как грамположительных (*Staphylococcus aureus*), так и грамотрицательных (*Escherichia coli*) бактерий.

До стирки:

– зона ингибирования для S. aureus - 39 мм
– зона ингибирования для E. coli - 41 мм
– необработанная ткань - 20 мм

После 5 циклов стирки:

– 31 мм для *S. aureus*
– 32 мм для *E. coli*

После 10 циклов стирки:

– 22,5 мм для *S. aureus*
– 23,5 мм для *E. coli*

Хотя наблюдалось постепенное уменьшение зон ингибирования, антибактериальная активность сохранялась даже после многократных стирок, что свидетельствует о долговременном эффекте.

Предполагаемый механизм действия связан с наличием в экстракте таннинов и флавоноидов. Таннины обладают способностью связывать белки и повреждать клеточные мембраны бактерий, а флавоноиды, благодаря своим антиоксидантным свойствам, усиливают антибактериальный эффект [32]. Их синергетическое действие приводит к разрушению мембран микроорганизмов и нарушению метаболических процессов, что подавляет рост бактерий.

Таким образом, экстракт *Rumex steudelii Hochst* продемонстрировал выраженные и устойчивые антибактериальные свойства при применении в хлопковых тканях, обеспечивая эффективную защиту от бактериального загрязнения даже после многократных стирок.

Антибактериальная отделка волокон и тканей в последние годы привлекает всё большее внимание, особенно в контексте практического применения [6]. Данная тенденция отражает растущее понимание значимости антибактериальных свойств текстильных материалов, которые способны существенно продлить срок их службы и повысить долговечность изделий. Поскольку долговечность и гигиеничность ценятся как потребителями, так и производителями, разработка текстиля со встроенными антибактериальными свойствами стала одним из приоритетных направлений текстильных инноваций. Эти изменения обусловлены не только необходимостью решения проблем, связанных со здоровьем, но и потребностью в высокоэффективных материалах для различных отраслей, включая здравоохранение, моду и интерьерный текстиль [33].

Растительные отходы также могут быть эффективно использованы в кожевенном производстве. Существует множество исследований,

посвященных способам эффективного применения натуральных экстрактов в отделочных работах кожевенного производства, а также их антиоксидантным и красящим свойствам [34-43].

Заключение. В ходе проведенного аналитического обзора обоснована актуальность перехода к экологически безопасным технологиям в текстильной и обувной промышленности. Данная необходимость продиктована ростом антибиотикорезистентности патогенов и потребностью в замене токсичных синтетических биоцидов натуральными аналогами.

На основании анализа мирового опыта установлено, что растительные экстракты, в частности *Justicia schimperiana* и *Rumex steudelii*, являются эффективными многофункциональными агентами, совмещающими свойства природных красителей и антимикробных средств.

Обобщение литературных данных позволило сделать следующие выводы:

Анализ существующих методик показал, что оптимальные условия извлечения биоактивных соединений (например, для листьев *Rumex steudelii* при температуре 90°C в течение 50 минут) позволяют достигать высокого выхода экстракта (до 56,6%).

Рассмотренные методики крашения с использованием металлических мордантов ($FeSO_4$, $Al_2(SO_4)_3$, $CuSO_4$), обеспечивают стабильную степень интенсивности окраски (K/S до 3.59) и способствуют прочной фиксации пигмента на волокне.

Подтверждена высокая биологическая активность изученных экстрактов против штаммов *S. aureus* и *E. coli*. Анализ данных свидетельствует о пролонгированном эффекте отделки: даже после 10 циклов стирки текстильные материалы сохраняют значительные зоны ингибирования роста бактерий (22,5-23,5 мм).

Установлено, что антимикробные свойства обусловлены синергетическим действием танинов и флавоноидов, которые разрушают клеточные мембраны патогенов.

Таким образом, использование растительных экстрактов открывает широкие перспективы для создания гигиеничных и экологически чистых элементов обуви (стелек, подкладок) и текстиля. Внедрение данных «зеленых» технологий является стратегически важным направлением для развития отечественной легкой промышленности и повышения безопасности потребительских товаров.

Список литературы

1. Murugesh Babu K., Ravindra K. Bioactive antimicrobial agents for finishing of textiles for health care products // Journal of the Textile Institute. – 2015. – Vol. 106, No. 7. – P. 706–717.
2. Reshma A., et al. Sustainable antimicrobial finishing of fabrics using natural bioactive agents: a review // International Journal of Life Science and Pharma Research. – 2018. – Vol. 8, No. 4. – P. 10–20.
3. Chowdhury T.A., Khandaker J.I., Gafur M.A., Repon M.R., Islam M.K., Hossain A., Mollick S. Biomordant assisted natural dyeing of cellulosic fibre: a greener approach // Materials Research and Innovation. – 2025. – Vol. 29, No. 1. – P. 27–34. DOI. 10.1080/14328917.2024.2361984
4. Afraz N., et al. Antimicrobial finishes for textiles // Current Trends in Fashion Technology & Textile Engineering. – 2019. – Vol. 4, No. 5. – P. 87–94.
5. AA H., et al. Green strategy for development of antimicrobial printed textile fabrics // Research Journal of Textile and Apparel. – 2012. – Vol. 16, No. 1. – P. 77–85.

6. Tegegne W., Haile A. Effect of papain enzyme surface modification on hydrophilic and comfort properties of polyester/cotton blend fabric // Discover Materials. – 2024. – Vol. 4, No. 1. – Art. 2.
7. Burnett-Boothroyd S., McCarthy B. Antimicrobial treatments of textiles for hygiene and infection control applications: an industrial perspective // Textiles for Hygiene and Infection Control. – Amsterdam: Elsevier, 2011. – P. 196–209.
8. Ravindra K., Murugesh Babu K. Study of antimicrobial properties of fabrics treated with Ocimum sanctum L. (tulsi) extract as a natural active agent // Journal of Natural Fibers. – 2016. – Vol. 13, No. 5. – P. 619–627.
9. Syed M.H., et al. Eco-friendly antimicrobial finishing of cotton fabrics using bioactive agents from Melia azedarach berries extract and their performance after subsequent washings // Egyptian Journal of Chemistry. – 2023. – Vol. 66, No. 11. – P. 255–268.
10. Vasas A., et al. The genus Rumex: review of traditional uses, phytochemistry and pharmacology // Journal of Ethnopharmacology. – 2015. – Vol. 175. – P. 198–228.
11. Omara T. Antimalarial plants used across Kenyan communities // Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. – 2020. – Art. 4538602.
12. John B., Reddy V., Sulaiman C. Total phenolics and flavonoids in selected Justicia species // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. – 2013. – Vol. 2, No. 4. – P. 72–73.
13. Patil D., et al. Extraction of natural dye from rose flower for dyeing cotton fabrics // International Journal for Innovative Research in Multidisciplinary Field. – 2016. – Vol. 2, No. 8. – P. 135–137.
14. Bechtold T., Mussak R., Amalid M.A., Ganglberger E., Geissler S. Extraction of natural dyes for textile dyeing from plant wastes released from food industry // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2006. – Vol. 86. – P. 233–242.
15. Tesfaye T., et al. Dyeing cotton with dyes extracted from eucalyptus and mango trees // The International Journal of Science and Technoledge. – 2015. – Vol. 3, No. 8. – P. 310.
16. Ayele M., et al. Natural dyeing of cotton fabric with mango extract: a step towards sustainable dyeing // Sustainable Chemistry and Pharmacy. – 2020. – Vol. 17. – Art. 100293. DOI. 10.1016/j.scp.2020.100293
17. Shariful Islam S., et al. Investigation of color fastness properties of natural dyes on cotton fabrics // Fibers and Textiles. – 2020. – Vol. 27, No. 1. – P. 1–6.
18. Chao Y.-C., et al. A study on combining natural dyes and environmentally-friendly mordant to improve color strength and UV protection of textiles // Fibers and Polymers. – 2017. – Vol. 18, No. 8. – P. 1523–1530. DOI. 10.1007/s12221-017-6964-7
19. Shahid M., Mohammad S.U.I., Mohammad F. Recent advancements in natural dye applications: a review // Journal of Cleaner Production. – 2013. – Vol. 53. – P. 310–331. DOI. 10.1016/j.jclepro.2013.03.031
20. Habib N., et al. Assessment of wild turmeric–based eco-friendly yellow natural bio-colorant for dyeing of wool fabric // Environmental Science and Pollution Research. – 2023. – Vol. 30, No. 2. – P. 4570–4581. DOI. 10.1007/s11356-022-22450-w
21. Yameen M., et al. Sustainable eco-friendly extraction of yellow natural dye from Haar Singhar for cotton coloration // Environmental Science and Pollution Research. – 2022. – Vol. 29, No. 55. – P. 83810–83823. DOI. 10.1007/s11356-022-21450-0
22. Tegegne W., Haile A. Improving hydrophilicity and comfort characteristics of polyester/cotton blend fabric through lipase enzyme treatment // Clean Technologies and Environmental Policy. – 2024. DOI. 10.1007/s10098-024-02756-8
23. Adeel S., et al. Eco-friendly microwave assisted coloration of silk and wool fabric with Acid Blue 07 dye // Environmental Science and Pollution Research. – 2023. – Vol. 30, No. 30. – P. 74939–74951. DOI. 10.1007/s11356-023-27471-7
24. Alapati P., Sulthana S. Phytochemical screening of plant sources for textile finishing // International Journal of Advanced Research. – 2015. – Vol. 3, No. 10. – P. 1391–1398.

25. Burnett-Boothroyd S., McCarthy B. Antimicrobial treatments of textiles for hygiene and infection control applications // Textiles for Hygiene and Infection Control. – Amsterdam: Elsevier, 2011. – P. 196–209.
26. Chowdhury T.A., et al. Bio-colouration of nylon fabric using natural dyes and mordants // Materials Research and Innovation. – 2024. – Vol. 28, No. 5. – P. 1–9.
27. Hashem M., et al. Enhancing antimicrobial properties of dyed cotton fabrics // Carbohydrate Polymers. – 2009. – Vol. 78, No. 3. – P. 502–510.
28. Kaur I., et al. Functionalization of cotton fabric with antibacterial activity // Journal of Polymer Research. – 2011. – Vol. 18, No. 3. – P. 347–358.
29. Mukungu N., et al. Medicinal plants used for malaria management in Kenya // Journal of Ethnopharmacology. – 2016. – Vol. 194. – P. 98–107.
30. Purwar R. Antimicrobial textiles // The Impact and Prospects of Green Chemistry for Textile Technology. – Amsterdam: Elsevier, 2019. – P. 281–306.
31. Bang E.S., et al. Durable antimicrobial finish of cotton fabrics // Journal of Applied Polymer Science. – 2007. – Vol. 106, No. 2. – P. 938–943.
32. Joshi M., et al. Ecofriendly antimicrobial finishing of textiles using natural products. – New Delhi: CSIR, 2009.
33. Ramasamy F. A review on biologically active natural compounds on cotton fabrics // International Research Journal of Science and Technology. – 2019. – Vol. 1, No. 1. – P. 49–55.
34. Mirzamuratova R., et al. Investigation of walnut shell extract on chromium (VI) content in leather // Textile Research Journal. – 2024. – P. 2565–2574. DOI. 10.1177/00405175241246736
35. Bektayev K., et al. Calligonum aphyllum extract as sustainable colorant for fabric treatment // Journal of Natural Fibers. – 2025. – Vol. 22, No. 1. DOI. 10.1080/15440478.2025.2568533
36. Mirzamutova R.Sh., Kaldybayev R.T., Bayramoglu E.E., Temirshikov K.M., Bayseitova I.S. Vliyanie travyanyh ekstraktov na prochnost' kozhi [Effect of herbal extracts on leather strength] // Nauchno-tekhnicheskiy zhurnal “Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti”. – No. 4 (406). – Ivanovo: Tekstil'nyy institut Ivanovskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta, 2023. – P. 81–86. [in Russian].
37. Mirzamutova R.Sh., Kaldybayev R.T., Bayramoglu E.E. Krashenie natural'noy kozhi s primeneniem rastitel'nogo ekstrakta [Dyeing of natural leather using plant extract] // Nauchno-tekhnicheskiy zhurnal “Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti”. – No. 6 (408). – Ivanovo: Tekstil'nyy institut Ivanovskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta, 2023. – P. 54–59. [in Russian].
38. Mirzamutova R.Sh., Bayramoglu E.E., Kaldybayev R.T. Application of some plant extracts as biocolorants for leather during finishing process // Journal of American Leather Chemists Association. – 2024. – Vol. 119, No. 1. – P. 3–12. – DOI. 10.34314/jalca.v119i1.8289.
39. Mirzamutova R.Sh., Bayramoglu E.E., Gulzinat Y. Reduction of Cr (VI) formation in leather with herbal extracts // Journal of American Leather Chemists Association. – 2024. – Vol. 119, No. 2. – P. 71–79. DOI. 10.34314/jalca.v119i2.8324.
40. Mırzamutova R.Sh., Bayramoglu E.E., Abzalbekuly B., Kaldybayev R., Baiteliyeva M., Gafurov J., Dairabay D. Investigation of the effect of a natural extract from oak bark on the properties of leather [Issledovanie vliyaniya natural'nogo ekstrakta kory duba na svoystva kozhi] // Fibres & Textiles in Eastern Europe. – 2024. – Vol. 32, No. 1. – P. 83–89. DOI. 10.2478/ftee-2024-0010.
41. Mirzamutova R.Sh., Kaldybayev R.T., Bayramoglu E.E. Zhan'ghak kabygynyn (juglans regia) byl'gary boiau turaqtylygyna a'seri [Effect of walnut shell (Juglans regia) on leather dye fastness] // Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2024. – No. 1 (143). – P. 223–230. DOI. 10.48184/2304-568X-2024-1-223-230. [in Kazakh].
42. Mirzamutova R.Sh., Kaldybayev R.T., Bayramoglu E.E. Tabigi boiagyshtardyn byl'garynyn beriktik shamasy na a'seri [Effect of natural dyes on leather strength] //

Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2024. – No. 4 (146). – P. 186–192. DOI. 10.48184/2304-568X-2024-4-186-192. [in Kazakh].
43. Bektayev K., Sarybaeva E.E., Mirzamutova R.Sh., Abzalbekuly B., Oraz G.T., Shardarbek M.Sh., Tashmukhamedov F.R., Kauymbayev R.T. IK-spektroskopicheskie issledovaniya struktury tekstil'nyh materialov, okrashennyh prirodnymi krasitelyami [IR spectroscopic studies of the structure of textile materials dyed with natural dyes] // Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2025. – P. 160–170. DOI. 10.48184/2304-568X-2025-1-160-170. [in Russian].

Материал поступил в редакцию 06.03.26, принят 29.04.26.

Л.Ә. Мыңбатырова[1], Р.Ш. Мирзамуратова[1]

[1]М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

ТОҚЫМА ӨНЕРКӘСІБІНДЕ АНТИМИКРОБТЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ БАР ТАБИҒИ БОЯҒЫШТАРДЫ ҚОЛДАНУДЫҢ ЗАМАНАУИ ҮРДІСТЕРІ

Аңдатпа. Осы мақалада табиғи талшықтарды антимикробтық өңдеу және бояу үшін өсімдік экстрактілерін көпфункционалды агенттер ретінде қолданудың заманауи үрдістеріне талдау жүргізілді. Синтетикалық биоцидтер мен төртіншілік аммоний қосылыстарының қоршаған ортаға және адам денсаулығына теріс әсері анықталып, «жасыл» технологияларға көшу қажеттілігі негізделді. Патогенді микрофлораны тежеуге жауапты флавоноидтар мен таниндерге бай дәрілік өсімдіктердің фитохимиялық әлеуеті сарапталды. Биологиялық белсенді қосылыстарды экстракциялаудың оңтайлы параметрлері және олардың тоқыма субстраттарымен өзара әрекеттесу механизмдері айқындалды. Табиғи бояғыштарды қолдану екіжақты әсер беретіні анықталды: эстетикалық бояу және грамоң әрі грамтеріс бактерияларға қарсы ұзақ мерзімді қорғаныс. Аяқ киім мен киім элементтерінің гигиеналық қауіпсіздігін арттыру мақсатында жүн және мақта материалдарын функционалдандырудың маңыздылығы негізделді. Тоқыма өнімдерінің бәсекеге қабілеттілігін арттыру үшін табиғи текті шикізатты өңдеуде өсімдік экстрактілерін қолданудың артықшылықтары айқындалып, перспективалық бағыттары тұжырымдалды. Алынған нәтижелер негізінде табиғи талшықтар мен материалдарды өсімдік экстрактілерімен өңдеудің тиімділігін, антимикробтық және бояғыштық қасиеттерін тереңірек зерттеу қажеттілігі туралы қорытынды жасалды.

Түйін сөздер: өсімдік экстрактілері, антибактериялық өңдеу, табиғи бояғыштар, табиғи талшықтар, экологиялық қауіпсіздік.

L.A. Myngbatyrova[1], R.Sh. Mirzamuratova[1]

[1]M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

CURRENT TRENDS IN THE USE OF NATURAL DYES WITH ANTIMICROBIAL PROPERTIES IN THE TEXTILE INDUSTRY

Abstract. This article analyzes current trends in the use of plant extracts as multifunctional agents for the antimicrobial treatment and dyeing of natural fibers. The adverse environmental and human health impacts of synthetic biocides and quaternary ammonium compounds have been identified, substantiating the need for a transition to green technologies. The phytochemical potential of medicinal plants containing flavonoids and tannins, which are responsible for inhibiting pathogenic microflora, has been

examined. Optimal parameters for the extraction of biologically active compounds and the mechanisms of their interaction with textile substrates have been determined. It has been established that the application of natural dyes provides a dual effect: aesthetic coloration and long-lasting protection against Gram-positive and Gram-negative bacteria. The importance of functionalizing wool and cotton materials to enhance the hygienic safety of footwear and clothing components is substantiated. In order to improve the competitiveness of textile products, the advantages and перспективные направления (future directions) for the use of natural extracts in the processing of raw materials of natural origin have been identified. Based on these findings, it is concluded that more in-depth research is required to evaluate the effectiveness, antimicrobial performance, and dyeing properties of natural fiber treatments using plant extracts.

Key words: plant extracts, antibacterial finishing, natural dyes, natural fibers, environmental safety.

МРНТИ 64.41.81

Д.Т. Максудова[1]- *основной автор*,
Д.К. Турсунова[2], Н.У. Ибрагимова[3]

[1]Ассистент, [2]PhD, ассоциированный профессор, [3]Докторант

[1,2,3]Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,
Ташкент, Республика Узбекистан

[3]ibragimovanurkhon685@gmail.com

https://doi.org/10.55956/JOOZ1309

РАЗРАБОТКА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ОБУВИ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ РАБОТНИКОВ И ОЦЕНКА ЕЁ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОПЫТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация. Одним из эффективных способов профилактики профессиональных заболеваний медицинских работников является применение специализированной обуви, отвечающей современным эргономическим, эксплуатационным и гигиеническим требованиям. В работе представлены результаты разработки новой конструкции обуви для медицинских работников и комплексной оценки ее эргономических и эксплуатационных показателей по результатам лабораторных испытаний и опытной эксплуатации. Эксплуатационные и эргономические свойства обуви оценивали в процессе опытной носки медицинскими работниками различных специальностей с использованием анкетного опроса и последующей статистической обработки результатов. Анализировались показатели комфортности, соответствия размеру, амортизационных свойств, воздухопроницаемости, противоскользящих характеристик, устойчивости конструкции и общей удовлетворенности пользователей. Полученные результаты подтвердили соответствие разработанной конструкции современным требованиям к медицинской обуви, высокий уровень ее эргономических характеристик и перспективность практического применения в учреждениях здравоохранения.

Ключевые слова: конструкция, обувь, медицинские работники, эргономика, опытная эксплуатация, статистический анализ, комфорт, эксплуатационные свойства, анкетирование пользователей.

Максудова, Д.Т. Разработка новой конструкции обуви для медицинских работников и оценка её эргономических показателей по результатам опытной эксплуатации [Текст] / Д.Т. Максудова, Д.К. Турсунова, Н.У. Ибрагимова // Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №2(92). – С.197-206. https://doi.org/10.55956/JOOZ1309

Введение. Профессиональная деятельность медицинских работников сопровождается длительным пребыванием в положении стоя, многократными перемещениями в течение рабочей смены и высокой интенсивностью статико-динамических нагрузок на нижние конечности. Такие условия труда способствуют развитию профессионального утомления, болевого синдрома стоп, голеностопных и коленных суставов, а также повышают риск

возникновения заболеваний опорно-двигательного аппарата. Согласно современным исследованиям, именно неправильно подобранная профессиональная обувь является одним из факторов, влияющих на биомеханику ходьбы, энергозатраты, устойчивость и риск производственного травматизма. В систематическом обзоре R. Orr и соавт. проанализировано 50 исследований, подтверждающих существенное влияние конструкции профессиональной обуви на походку, равновесие, мышечную активность и вероятность развития профессиональных травм [1].

В последние годы особое внимание уделяется разработке эргономичной медицинской обуви, обеспечивающей оптимальное распределение давления на подошвенную поверхность стопы, эффективную амортизацию, достаточную воздухопроницаемость материалов верха и надежные противоскользящие свойства подошвы. Комплексное сочетание этих характеристик позволяет снизить утомляемость медицинского персонала и повысить безопасность его профессиональной деятельности. Современные обзоры показывают, что масса обуви, жесткость подошвы, конструкция стельки и коэффициент трения подошвы являются определяющими факторами, влияющими на уровень комфорта пользователя и риск возникновения заболеваний опорно-двигательного аппарата [1,2].

Несмотря на значительное количество публикаций, посвященных разработке профессиональной обуви, большинство исследований ограничивается лабораторной оценкой физико-механических свойств материалов либо биомеханическими испытаниями отдельных конструктивных элементов. При этом значительно меньше работ посвящено комплексной оценке эксплуатационных характеристик обуви непосредственно в условиях практического использования медицинскими работниками. Между тем именно опытная эксплуатация позволяет получить объективную информацию о комфортности обуви, устойчивости конструкции, соответствии размерных параметров антропометрическим особенностям стопы и степени удовлетворенности пользователей.

В современной научной литературе отмечается возрастающий интерес к использованию статистических методов обработки результатов анкетирования и эксплуатационных испытаний обуви. Применение количественных методов анализа позволяет объективно определить наиболее значимые показатели качества изделия, установить взаимосвязь между конструктивными параметрами обуви и субъективной оценкой пользователей, а также сформулировать научно обоснованные рекомендации по совершенствованию конструкции [1,3].

В связи с этим проведение комплексной статистической оценки эргономических и эксплуатационных характеристик разработанной модели специальной обуви медицинского назначения по результатам опытной эксплуатации представляет научный и практический интерес.

Условия и методы исследований. Исследование проводилось с целью комплексной оценки эргономических и эксплуатационных характеристик разработанной модели специальной обуви медицинского назначения в условиях реальной профессиональной деятельности. В качестве основного метода исследования была выбрана опытная эксплуатация обуви с последующей статистической обработкой результатов анкетирования пользователей. Подобный подход широко применяется при исследовании потребительских свойств обуви, поскольку позволяет получить комплексную

оценку комфорта, функциональности и эксплуатационной надежности изделия [4,5].

В исследовании приняли участие 31 медицинских работников, в том числе 11 мужчин и 20 женщин в возрасте от 22 до 55 лет, осуществляющих профессиональную деятельность в учреждениях здравоохранения г. Ташкента. Опытная эксплуатация обуви проводилась в течение 3,5 месяца при ежедневном использовании во время рабочей смены продолжительностью 8–12 часов.

Объектом исследования являлась разработанная конструкция обуви для медицинских работников (рис.1, а). Опытный образец обуви клеевого метода крепления имеет трикотажный верх с зонами повышенной вентиляции. Для повышения эргономических свойств разработана вкладная стелька многослойной конструкции, содержащая слой натуральной люффы и супинаторный элемент в геленочной части. (рис.1, б). Конструкция вкладной стельки обеспечивает снижение локальных нагрузок на подошвенную поверхность стопы, улучшение воздухообмена внутри обуви за счет слоя из люффы *1* и вкладыша супинатора в геленочной части *2*.

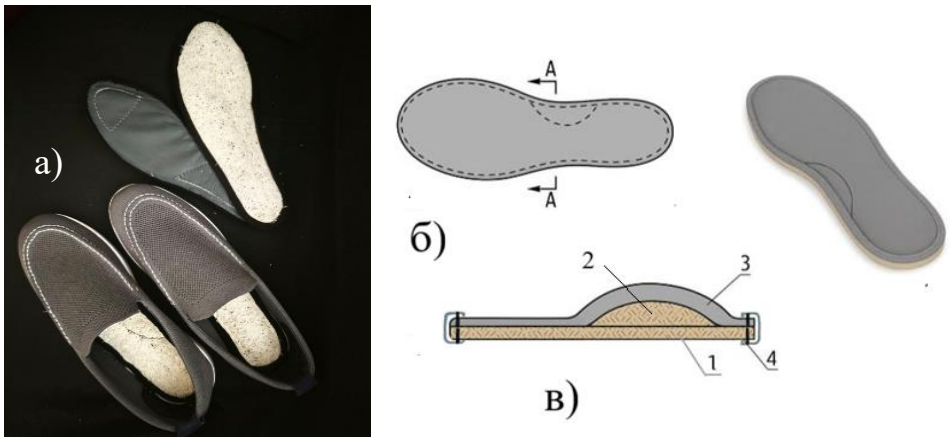


Рис.1 Конструкция разработанной обуви для медицинских работников:
а) общий вид разработанной обуви для медицинских работников;
б) общий вид вкладной стельки, в) разрез стельки по А-А, 1 – слой из люфы, 2 – вкладыш-супинатор из люфы, 3 – слой из подкладочной кожи, 4 – окантовочная тесьма.

Отличительной особенностью разработанной конструкции является применение многослойной вкладной стельки с использованием натуральной люффы и супинаторного элемента, что позволило совместить амортизирующие, вентиляционные и эргономические свойства в одной конструкции.

Использование натуральной люффы обусловлено её низкой плотностью, высокой воздухопроницаемостью и способностью обеспечивать дополнительную амортизацию при ходьбе.

Разработанная модель обуви для медицинских работников прошла испытания в комплексе испытательных лабораторий при СП ООО «Uzbek Turk Test Markazi» на соответствие требованиям ГОСТ 1135-2005 п.п.4.4.3.,

4.4.5. подтвержденных протоколом испытаний № ОЛ-79 от 29.09.2025 года. Результаты проведенных испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты проведенных испытаний разработанной модели обуви для медицинских работников

№	Наименование параметров (требований)	Значения параметров			Соответствие параметров
		По НД	Фактическая		
			Правая	Левая	
1	Масса обуви, гр	ГОСТ 1135-2005 п.4.4.6	241	238	соответствует
2	Гибкость обуви, N не более	ГОСТ 1135-2005 п.4.4.5 145	-	45	соответствует
3	Прочность крепления подошвы N/cm , не менее	ГОСТ 1135-2005 п.4.4.3 44	-	52	соответствует

Полученные результаты показали, что разработанная конструкция обуви соответствует требованиям ГОСТ 1135-2005 по всем исследованным показателям. Наибольший запас прочности наблюдается по показателю гибкости обуви: фактическое значение составило 45 Н при нормативном требовании не более 145 Н. Это свидетельствует о высокой эластичности конструкции и способствует снижению утомляемости стоп при длительной эксплуатации. Прочность крепления подошвы составила 52 Н/см при нормативе не менее 44 Н/см, что подтверждает надежность соединения деталей обуви. Масса опытного образца не превышает 241 г, что характеризует конструкцию как облегченную и благоприятную для длительного использования медицинским персоналом.

Субъективную оценку эксплуатационных и эргономических свойств разработанной обуви осуществляли на основе результатов опытной носки и последующего анкетного опроса пользователей. Анкета включала девять основных показателей:

– комфорт при длительном ношении;
– легкость обуви;
– соответствие размеру;
– эффективность амортизации;
– воздухопроницаемость;
– устойчивость конструкции;
– отсутствие неприятного запаха;
– противоскользящие свойства подошвы;
– общая удовлетворенность обувью.

Каждый показатель оценивался по пятибалльной системе (от 1 до 5 баллов), где 1 балл означал неудовлетворительную оценку, а 5 баллов – отличную.

Полученные экспериментальные данные были обработаны с использованием программы Microsoft Excel 2021. Статистический анализ проводился методами описательной статистики. Для каждого исследуемого показателя определяли среднее арифметическое значение (M), стандартное отклонение (SD) и коэффициент вариации (CV), позволяющие оценить центральную тенденцию и степень вариабельности полученных результатов.

Рассчитанные статистические показатели использовались для сравнительной оценки эксплуатационных и эргономических характеристик разработанной модели специальной обуви. Применение методов описательной статистики при анализе результатов анкетирования является общепринятым подходом в исследованиях, посвященных оценке комфорта и функциональных свойств обуви [6–8].

Результаты исследований. Статистическая обработка результатов анкетирования позволила количественно оценить эксплуатационные и эргономические характеристики разработанной модели специальной обуви медицинского назначения. Анализ полученных данных показал, что большинство исследуемых показателей получили высокую оценку участников опытной эксплуатации.

Наиболее высокие средние значения были получены по показателям удобства при длительном ношении, легкости конструкции, воздухопроницаемости материалов и устойчивости формы обуви после продолжительной эксплуатации. Это свидетельствует о соответствии разработанной конструкции основным эргономическим требованиям, предъявляемым к профессиональной обуви медицинских работников [9,10].

Несколько более низкие оценки были получены по показателям соответствия размерным признакам стопы и противоскользящим свойствам подошвы. Несмотря на то что большинство участников исследования положительно оценили данные характеристики, отдельные респонденты отметили необходимость дальнейшего совершенствования конструкции колодки и рисунка протектора подошвы. Аналогичные результаты представлены в исследованиях Arceri и соавт. [11], где отмечается, что именно посадка обуви по стопе и сцепление подошвы с поверхностью оказывают наибольшее влияние на субъективную оценку комфорта профессиональной обуви.

Коэффициенты вариации по большинству исследуемых показателей находились в пределах, свидетельствующих о достаточной согласованности мнений участников исследования. Это подтверждает надежность полученных результатов и позволяет использовать их для комплексной оценки эксплуатационных свойств разработанной модели обуви.

Полученные результаты свидетельствуют, что разработанная модель специальной обуви обеспечивает высокий уровень комфорта при эксплуатации в условиях медицинских учреждений и соответствует современным требованиям, предъявляемым к специализированной обуви для медицинского персонала.

Таблица 2

Характеристика участников опытной эксплуатации

Категория участников	Мужчины	Женщины	Всего
Врачи	8	11	19
Медицинские сестры	–	12	12
Всего	11	20	31

Как видно из таблицы 2, в исследовании приняли участие 31 медицинский работник, из которых 11 мужчин и 20 женщин. В выборку вошли врачи и медицинские сестры, профессиональная деятельность которых связана с длительным пребыванием на ногах. Продолжительность опытной эксплуатации обуви составила 3,5 месяца при ежедневной носке в течение 8-

12 часов, что позволило объективно оценить эксплуатационные и эргономические свойства разработанной модели обуви.

Результаты опытной эксплуатации показали, что разработанная модель специальной обуви получила высокую оценку медицинских работников по большинству исследуемых показателей. Для количественной оценки эксплуатационных характеристик обуви были рассчитаны средние значения, стандартные отклонения и коэффициенты вариации, результаты которых представлены в таблице 3.

Таблица 3

Статистическая оценка эксплуатационных характеристик обуви для медицинских работников

Показатель	M	SD	CV, %
Внешний вид модели	5,00	0,00	0,0
Соответствие размеру стопы	4,87	0,34	7,0
Легкость обуви	5,00	0,00	0,0
Удобство при ходьбе и стоянии	4,96	0,21	4,2
Приформовываемость стельки	4,91	0,29	5,9
Степень утомляемости ног	4,87	0,34	7,0
Потливость	4,91	0,29	5,9
Отсутствие запаха	5,00	0,00	0,0
Комфорт без статического напряжения	5,00	0,00	0,0
Противоскользящие свойства	4,78	0,42	8,8
Состояние обуви после эксплуатации	4,96	0,21	4,2

Как видно из таблицы 3, большинство исследуемых показателей получили высокие средние оценки. Максимальные значения отмечены по показателям внешнего вида модели, легкости обуви, отсутствия неприятного запаха и комфорта при эксплуатации, что свидетельствует о высоком уровне удовлетворенности пользователей. Несколько более низкая оценка получена по противоскользящим свойствам подошвы, что указывает на необходимость дальнейшего совершенствования конструкции. Полученные результаты согласуются с данными современных исследований, в которых показано, что комфорт обуви определяется совокупностью эргономических, гигиенических и эксплуатационных характеристик [9-11].

Анализ данных, представленных в таблице 3, показал, что разработанная модель специальной обуви характеризуется высокими эксплуатационными и эргономическими свойствами. Наивысшие средние оценки были получены по показателям внешнего вида модели, легкости обуви, отсутствия неприятного запаха и комфорта при эксплуатации без накопления статического электричества. Это свидетельствует о высокой удовлетворенности медицинских работников конструкцией изделия и используемыми материалами. Аналогичные результаты приведены в работе Orr и соавторов [10], где установлено, что снижение массы профессиональной обуви и использование современных материалов положительно влияют на комфорт пользователя и снижают риск развития утомления нижних конечностей.

Высокую оценку также получили показатели удобства при ходьбе и стоянии в течение рабочей смены, а также приформовываемости вкладной стельки к подошвенной поверхности стопы. Это можно объяснить использованием трикотажного верха и вкладной стельки с применением

натуральной люффы, которые обеспечивают более равномерное распределение нагрузки на стопу и способствуют улучшению воздухообмена внутри обуви. Схожие результаты представлены в исследованиях Bonanno и соавт. [12], посвященных влиянию амортизирующих стелек на снижение нагрузки на нижние конечности.

Наиболее низкая средняя оценка получена по показателю противоскользящих свойств подошвы. Несмотря на то что большинство участников исследования положительно оценили данный показатель, отдельные замечания свидетельствуют о необходимости совершенствования рисунка протектора и выбора материалов подошвы с более высоким коэффициентом трения. Подобные выводы представлены в работе Arceri и соавторов [11], где отмечено, что противоскользящие свойства являются одним из основных критериев оценки профессиональной обуви медицинского назначения.

В целом результаты опытной эксплуатации подтверждают, что разработанная модель специальной обуви соответствует основным требованиям, предъявляемым к обуви медицинского назначения. Высокие показатели комфортности, легкости и эргономичности позволяют рекомендовать разработанную конструкцию для практического применения в медицинских учреждениях.

Обсуждение научных результатов. Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности разработанной конструкции специальной обуви для медицинских работников. Высокие оценки по показателям комфорта, легкости и удобства при длительном ношении подтверждают, что применение трикотажного верха способствует снижению массы обуви, улучшению воздухообмена и повышению эргономических свойств изделия. Аналогичные результаты были получены Orr и соавторов [9], которые установили, что уменьшение массы профессиональной обуви и рациональное распределение нагрузки положительно влияют на биомеханику ходьбы и снижают риск развития профессионального утомления.

Одним из конструктивных преимуществ разработанной модели является использование вкладной стельки с натуральной люффой. По результатам опытной эксплуатации большинство участников отметили снижение утомляемости стоп и повышение комфорта при длительном пребывании в положении стоя. Вероятно, это обусловлено способностью натуральной люффы обеспечивать дополнительную амортизацию, улучшать воздухообмен и уменьшать локальное давление на подошвенную поверхность стопы. Полученные результаты согласуются с современными исследованиями, в которых подчеркивается положительное влияние амортизирующих стелек на снижение нагрузки на нижние конечности и профилактику профессиональных заболеваний [13,14].

Вместе с тем опытная эксплуатация позволила выявить отдельные конструктивные недостатки разработанной модели. Наиболее низкие оценки были получены по показателю противоскользящих свойств подошвы. Несмотря на высокий общий уровень удовлетворенности пользователей, отдельные участники отметили недостаточное сцепление подошвы с гладкими напольными покрытиями медицинских учреждений. Подобные результаты соответствуют данным Kim и Park [12], которые указывают, что геометрия рисунка протектора и свойства материала подошвы оказывают определяющее влияние на безопасность передвижения медицинского персонала.

Отдельные замечания также были получены по соответствию обуви полноте стопы. Данный результат свидетельствует о необходимости дальнейшей оптимизации параметров колодки с учетом антропометрических особенностей пользователей. По мнению Pereira-Barriga и соавт. [15], адаптация конструкции обуви к индивидуальным особенностям стопы является одним из основных факторов повышения эксплуатационного комфорта и снижения риска возникновения заболеваний опорно-двигательного аппарата.

Таким образом, результаты исследования подтверждают перспективность применения разработанной конструкции специальной обуви для медицинских работников. Использование трикотажного верха в сочетании со вкладной стелькой из натуральной люффы обеспечивает высокий уровень эргономических и гигиенических свойств изделия, а выявленные в процессе опытной эксплуатации замечания позволяют определить направления дальнейшего совершенствования конструкции.

Заключение. По результатам опытной эксплуатации разработанной модели обуви для медицинских работников проведена комплексная оценка ее эксплуатационных и эргономических характеристик. Статистическая обработка результатов анкетирования показала, что большинство исследуемых показателей получили высокую оценку пользователей. Средний уровень удовлетворенности пользователей составил 4,94 балла. Наиболее высоко были оценены показатели легкости обуви, комфорта и гигиенических свойств. Наименьшее значение получено по показателю противоскользящих свойств подошвы (4,78 балла), что определяет направление дальнейшей оптимизации конструкции.

Установлено, что применение трикотажного верха позволило снизить массу обуви, обеспечить эффективный воздухообмен и повысить комфорт при длительном использовании. Использование вкладной стельки с натуральной люффой способствовало более равномерному распределению нагрузки на подошвенную поверхность стопы и снижению субъективного ощущения усталости нижних конечностей в течение рабочей смены.

В ходе опытной эксплуатации выявлены отдельные направления дальнейшего совершенствования конструкции, связанные с оптимизацией размерного ряда и повышением противоскользящих свойств подошвы. Несмотря на отмеченные замечания, общая оценка разработанной модели свидетельствует о ее соответствии эргономическим, эксплуатационным и гигиеническим требованиям, предъявляемым к специализированной обуви медицинского назначения.

Полученные результаты подтверждают эффективность предложенных конструктивных решений и возможность практического применения разработанной модели в учреждениях здравоохранения. Результаты исследования могут быть использованы при дальнейшем совершенствовании конструкций специальной обуви, предназначенной для медицинских работников, а также при разработке нормативных требований к оценке ее эксплуатационных свойств.

Список литературы

1. Orr R., Maupin D., Palmer R., et al. The Impact of Footwear on Occupational Task Performance and Musculoskeletal Injury Risk: A Scoping Review // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2022.

2. Matthias E., Banwell H.A., Arnold J.B. Methods for Assessing Footwear Comfort: A Systematic Review // Footwear Science. – 2021.
3. Menz H.B., Bonanno D.R. Footwear Comfort: A Systematic Search and Narrative Synthesis of the Literature // Journal of Foot and Ankle Research. – 2021.
4. Tunprasert T., Langley B., Morrison S.C. A Scoping Review on Methods for Assessing Product Comfort: Considerations for Footwear Comfort // Footwear Science. – 2021.
5. Lewin M., et al. Definition of an Insole Comfort Equation Using Biomechanics Data from Real-World Walking // Footwear Science. – 2024.
6. Matthias E., Banwell H.A., Arnold J.B. Methods for Assessing Footwear Comfort: A Systematic Review // Footwear Science. – 2021. – Vol. 13, No. 3. – P. 223–240.
7. Tunprasert T., Langley B., Morrison S.C. A Scoping Review on Methods for Assessing Product Comfort: Considerations for Footwear Comfort // Footwear Science. – 2021. – Vol. 13, No. 2. – P. 95–111.
8. Menz H.B., Bonanno D.R. Footwear Comfort: A Systematic Search and Narrative Synthesis of the Literature // Journal of Foot and Ankle Research. – 2021. – Vol. 14. – Art. 22.
9. Orr R., Maupin D., Palmer R., et al. The Impact of Footwear on Occupational Task Performance and Musculoskeletal Injury Risk: A Scoping Review // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2022.
10. Matthias E., Banwell H.A., Arnold J.B. Methods for Assessing Footwear Comfort: A Systematic Review // Footwear Science. – 2021.
11. Arceri A., Mazzotti A., Liosi S.G., et al. What's the Impact of Safety Footwear on Workers Concerning Foot-Related Problems? A Systematic Review // Healthcare. – 2024.
12. Kim S., Park J. Slip-Resistance Performance of Medical Footwear on Hospital Floors // Applied Ergonomics. – 2020.
13. Bonanno D.R., Landorf K.B., Munteanu S.E., Murley G.S., Menz H.B. Effectiveness of Footwear and Foot Orthoses for Musculoskeletal Conditions of the Foot and Lower Limb: A Systematic Review // Journal of Foot and Ankle Research. – 2018.
14. Lewin M., Jones R., Morrison S.C., et al. Definition of an Insole Comfort Equation Using Biomechanics Data from Real-World Walking // Footwear Science. – 2024.
15. Pereira-Barriga M.C., Sánchez-Lite A., Domínguez-Sáez A. A Review of the Injuries Caused by Occupational Footwear // Applied Sciences. – 2024.

Материал поступил в редакцию 10.06.26, принят 18.06.26.

Д.Т. Максудова[1], Д.К. Турсунова[1], Н.У. Ибрагимова[1]

[1]Ташкент тоқыма және жеңіл өнеркәсіп институты,
Ташкент, Өзбекстан Республикасы

МЕДИЦИНА ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРІНЕ АРНАЛҒАН ЖАҢА АЯҚ КИІМ КОНСТРУКЦИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ОНЫ ТӘЖІРИБЕЛІК ПАЙДАЛАНУ НӘТИЖЕЛЕРІ НЕГІЗІНДЕ ЭРГОНОМИКАЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІН БАҒАЛАУ

Аңдатпа. Денсаулық сақтау саласы қызметкерлері арасында кәсіптік аурулардың алдын алудың тиімді жолдарының бірі – қазіргі заманғы эргономикалық, пайдалану және гигиеналық талаптарға сәйкес келетін арнайы аяқ киімді қолдану. Бұл жұмыста медицина қызметкерлеріне арналған жаңа аяқ киім конструкциясын әзірлеу нәтижелері және оның эргономикалық әрі пайдалану көрсеткіштерін зертханалық сынақтар мен тәжірибелік пайдалану нәтижелері негізінде кешенді бағалау ұсынылған. Желімдеу әдісімен бекітілетін табаны бар, трикотажды үстіңгі бөлігі және табиғи люффа қабаты мен табан доғасын тірейтін

супинатор элементі енгізілген көпқабатты алынбалы ұлтарағы бар медициналық аяқ киім үлгісі әзірленді. Әзірленген конструкцияның ГОСТ 1135–2005 талаптарына сәйкестігі аяқ киімнің массасы, иілгіштігі және табанның бекітілу беріктігі бойынша жүргізілген зертханалық сынақтар арқылы расталды. Аяқ киімнің эргономикалық және пайдалану қасиеттері әртүрлі медициналық мамандық иелерінің қатысуымен жүргізілген тәжірибелік пайдалану барысында құрылымдалған сауалнама және алынған деректерді кейінгі статистикалық өңдеу негізінде бағаланды. Бағалау барысында кию жайлылығы, өлшемге сәйкестігі, амортизациялық қасиеттері, ауа өткізгіштігі, сырғанауға төзімділігі, конструкциясының тұрақтылығы және пайдаланушылардың жалпы қанағаттану деңгейі талданды. Зерттеу нәтижелері әзірленген аяқ киім конструкциясының медициналық аяқ киімге қойылатын қазіргі заманғы талаптарға сәйкес келетінін, жоғары эргономикалық көрсеткіштерге ие екенін және денсаулық сақтау мекемелерінде практикалық қолдануға перспективалы екенін растады.

Түйін сөздер: аяқ киім конструкциясы, медициналық аяқ киім, медицина қызметкерлері, эргономика, тәжірибелік пайдалану, зертханалық сынақтар, статистикалық талдау, жайлылық, пайдалану қасиеттері, пайдаланушыларға сауалнама.

D.T. Maksudova[1], D.K. Tursunova[1], N.U. Ibragimova[1]

[1]Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Tashkent, Uzbekistan

DEVELOPMENT OF A NOVEL FOOTWEAR DESIGN FOR MEDICAL PERSONNEL AND EVALUATION OF ITS ERGONOMIC PERFORMANCE BASED ON WEAR TRIAL RESULTS

Abstract. One of the most effective approaches to preventing occupational disorders among healthcare workers is the use of specialized footwear that meets modern ergonomic, functional, and hygienic requirements. This study presents the results of developing a novel footwear design for healthcare professionals and a comprehensive evaluation of its ergonomic and performance characteristics based on laboratory testing and wear trials. A medical footwear model with a cemented sole construction, a knitted upper, and a multilayer removable insole incorporating a natural loofah layer and an arch support element was developed. Compliance of the developed footwear with the requirements of GOST 1135-2005 was confirmed through laboratory testing of footwear weight, flexibility, and outsole bonding strength. The ergonomic and performance characteristics of the footwear were assessed during wear trials involving healthcare professionals from various medical specialties using a structured questionnaire followed by statistical analysis of the collected data. The evaluated parameters included wearing comfort, size fit, cushioning performance, breathability, slip resistance, structural stability, and overall user satisfaction. The results confirmed that the developed footwear design complies with current requirements for medical footwear, demonstrates a high level of ergonomic performance, and has strong potential for practical application in healthcare institutions.

Key words: footwear design, medical footwear, healthcare workers, ergonomics, wear trials, laboratory testing, statistical analysis, comfort, performance properties, user questionnaire.

ҒТАМР 64.33.14

Г.Б. Арыстанова[1] – *негізгі автор*,
Л.Т. Сарттарова[2], М.М. Езиева[3]

[1]Докторант, [2]Техн. ғылым. канд, PhD, қаумдас. профессор,
[3]PhD, қаумдас. профессор

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0002-8818-5278 [2]https://orcid.org/0000-0001-7268-7620*
[3]https://orcid.org/0000-0003-1265-9155

[1,2]Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан

[3]Ақдениз Университеті, Анталья, Түркия

@ *[1]viagulnur@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/EVWS9318

ЖАСӨСПІРІМ-ӘСКЕРИ ҚЫЗМЕТШІЛЕРГЕ АРНАЛҒАН НЫСАНДЫ КИІМНІҢ ЭРГОНОМИКАСЫ МЕН ФУНКЦИОНАЛДЫҒЫ: АНТРОПОМЕТРИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕР НЕГІЗІНДЕ ЖОБАЛАУ ТӘСІЛДЕРІ

Аңдатпа. Мақалада «Арыстан» мамандандырылған лицейінің жасөспірімдеріне арналған формалық киімді эргономика және функционалдылық тұрғысынан жобалау мәселелері зерттеледі. Зерттеудің теориялық маңыздылығы антропометриялық, эргономикалық және психофизиологиялық аспектілерді біріктіретін пәнаралық тәсілді интеграциялауымен айқындалады. Зерттеу әдіснамасы 208 респонденттің биометриялық параметрлерін байланыс антропометрия әдістерін қолдана отырып талдауға және формалық киімнің бейімделмелі модельдерін аналитикалық конструкциялау тәсіліне негізделген. Ғылыми жаңалығы жасөспірімдер морфологиясының ерекшеліктеріне бағытталғандығымен және әскери форманы жобалаудың халықаралық стандарттарын салыстырмалы талдаумен сипатталады. Жасөспірімдердің өсу динамикасын ескере отырып, пайдалану сипаттамаларын жақсартуға бағытталған бейімделмелі эргономикалық элементтерді қолдануды және өлшемдік градацияны оңтайландыруды қамтитын инновациялық конструктивтік шешімдер ұсынылған. Алынған нәтижелер мамандандырылған киім индустриясы мен әскери-білім беру мекемелері үшін практикалық маңызға ие.

Тірек сөздер: эргономика, әскери форма, әскери қызметші жасөспірімдер, антропометриялық зерттеулер, үш өлшемді модельдеу, дене бітімі сипаттамалары, эргономикалық оңтайландыру.

Арыстанова, Г.Б. Жасөспірім-әскери қызметшілерге арналған нысанды киімнің эргономикасы мен функционалдығы: антропометриялық зерттеулер негізінде жобалау тәсілдері [Мәтін] / Г.Б. Арыстанова, Л.Т. Сарттарова, М.М. Езиева //Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №2(92). – Б.207-220. https://doi.org/10.55956/EVWS9318

Кіріспе. Қазіргі заманғы әскери оқу орындары – бұл жасөспірімдерге арналған ерекше мәртебеге ие білім беру мекемелері болып табылады. Аталған оқу орындары жалпы орта білім беру бағдарламаларын әскери-патриоттық бағыттағы даярлықпен ұштастыра отырып, кешенді білім беру ортасын қалыптастырады. Мұндай мекемелердің басты ерекшелігі – оқу

үдерісі қарқынды күн тәртібімен жүзеге асырылуы, оның құрамына жалпы білім беретін пәндермен қатар саптық дайындық, дене шынықтыру, кезекшілік атқару және басқа да әскери-қолданбалы іс-әрекеттердің кіруі.

Жасөспірімдерге арналған әскери форманы жобалау барысында ерекше назар аударуды талап ететін бірқатар кешенді мәселелер туындайды. Негізгі қиындықтардың қатарына жасөспірімдердің жеке анатомиялық және физиологиялық даму ерекшеліктерін, сондай-ақ олардың дене бітімінің әртүрлілігін ескеру қажеттілігі жатады, бұл өз кезегінде әмбебап лекалдарды құрастыруды едәуір күрделендіреді. Әскери форма ұзақ уақыт бойы киюге және жоғары физикалық жүктемелерге бейімделуі тиіс, қозғалысты шектемеуімен қатар, дене қалпының ерекшеліктерін де ескеруі қажет.

Аталған мәселелерді тиімді шешу үшін заманауи жобалау технологияларын енгізу және жан-жақты антропометриялық зерттеулер жүргізу қажет. Бұл мәселе әсіресе «Арыстан» лицейі секілді жасөспірімдерге арналған мамандандырылған оқу орындары жағдайында аса өзекті болып табылады. Мұндай оқу орындарында оқушылар жоғары физикалық жүктемелермен, қатаң ішкі тәртіппен және формалық киімді ұзақ уақыт бойы кию қажеттілігімен сипатталатын қарқынды әскери даярлықтан өтеді. Дәстүрлі киім үлгілеу тәсілдерін қайта қарастырып, оларды заманауи технологиялық шешімдермен және ғылыми-өлшемдік (антропометриялық) деректермен толықтыру қажет. Айта кету керек, оқушыларға арналған әскери форманың жайлылығы мен қауіпсіздігін қамтамасыз ету мәселелері Қазақстан Республикасында мемлекеттік деңгейде ерекше назарға алынып отыр.

Барлық санаттағы әскери қызметшілерге арналған формалық киім үлгілері 2023 жылғы мамыр айында өткен Жалпыармиялық кеңесте ұсынылып, Қазақстан Республикасының Президенті Қасым-Жомарт Кемелұлы Тоқаевтың мақұлдауына ие болды. Бұл маңызды қадам мемлекет тарапынан әскери киім үлгілерін жаңғыртуға деген саяси ерік пен дайындықты көрсетеді. Алайда, формалық киімді жобалау мәселелерін тереңірек ғылыми тұрғыдан зерделеу арқылы ғана оның тиімділігін барынша арттыруға қол жеткізуге болады [1].

Зерттеудің мақсаты жасөспірім әскери қызметкерлерге арналған формалық киімді жобалауға антропометриялық деректер мен эргономикалық талаптар негізінде тиімді тәсілдер ұсыну.

Зерттеудің теориялық маңыздылығы антропометрия, эргономика, материалтану және жасөспірімдер психологиясы салаларындағы жетістіктерді біріктіретін пәнаралық тәсілдердің синтезі арқылы көрініс табады.

Ұсынылып отырған шешімдердің инновациялық сипаты бейімделмелі элементтерді аналитикалық киім конструкциясы әдістерін қолдану және өлшемдердің динамикалық жүйесін дайындау арқылы негізделген. Әлемдік стандарттарды (АҚШ, Ұлыбритания, Израиль, Ресей, Қытай) салыстырмалы талдау Қазақстандағы нақты жағдайларға алдыңғы қатарлы халықаралық тәжірибелерді бейімдеуге мүмкіндік берді.

Зерттеу жұмысының практикалық маңыздылығы. Зерттеудің практикалық маңыздылығы мамандандырылған киім өндірушілері мен әскери оқу орындары үшін нақты ұсыныстар дайындауды көрініс табады. Ұсынылған модификациялар әскери лицей оқушыларының физикалық және психологиялық жайлылығын оңтайландыруға бағытталған.

Зерттеудің әдіснамалық негізі. «Арыстан» лицейінің 208 оқушысының антропометриялық көрсеткіштерін талдауға сүйенеді, физикалық белсенділік, қалып және жасөспірімдердің дене бітімі арасындағы өзара байланыстарды анықтау үшін корреляциялық әдістерді қолданады. Кешенді тәсіл сандық әдістерді дене өлшемдерін өлшеу (соматометриялық талдау, конструктивтік түйіндердің динамикалық сәйкестігін бағалау) және сапалық әдістерді (оқушыларға сауалнама жүргізу) интеграциялау арқылы қамтамасыз етіледі.

Қойылған мақсатқа жету үшін төмендегідей зерттеу міндеттері анықталды:

1. Жасөспірім әскери қызметкерлердің антропометриялық сипаттамаларын талдау.
2. Форманың эргономикалық мәселелері мен функционалдық талаптарын зерттеу.
3. Инновациялық шешімдерді жобалау және енгізу бойынша ұсынымдар әзірлеу.

Зерттеудің методологиялық базасын қалыптастыру және проблеманың қазіргі жағдайын анықтау мақсатында ғылыми әдебиетті жан-жақты талдау жүргізілді. Арнайы назар екі негізгі аспектке аударылды: әскери форманы жобалаудың қазіргі заманғы әдістері және қолданыстағы стандарттардың сыншыл талдауы. Бұл зерттеу бағыты бар білімді жүйелендіруге және ағымдағы зерттеулердегі олқылықтарды анықтауға мүмкіндік береді.

Әскери форманы жобалаудың қазіргі заманғы әдістерінің талдауы. Қазіргі әдістер антропометриялық зерттеулердің нәтижелерін кеңінен қолдана отырып, дәл өлшемдік желілерді жасауға негізделеді. Journal of Textile Science & Engineering журналында жарияланған зерттеулер жасөспірімдердің дене бітімінің өзгермелілігін ескеру қажеттілігін ерекше атап көрсетеді, бұл әскери оқу орындары үшін аса өзекті мәселе болып табылады [2]**.** S.P. Ashdown зерттеулері үшөлшемді сканерлеу мен өлшемдердің таралуын статистикалық талдауды қолдану мамандандырылған жабдықтың эргономикалық жайлылығын айтарлықтай арттыратынын растайды [3]. D. Gupta және N. Zakaria жүргізген негізгі зерттеулер мақсатты топтың морфологиялық ерекшеліктерін ескере отырып жобалауда кешенді тәсілдің қажеттілігін көрсетеді [4]. A. Petrova және авторлық ұжымының зерттеулері денені үшөлшемді сканерлеу деректерін талдаудың өнімдердің орналасуын айтарлықтай жақсартатынын дәлелдейді [5]. C.H. Hsu антропометриялық ақпаратты өңдеуде статистикалық әдістердің тиімділігін растайды [6]. M.S. Choi және S.P. Ashdown бірлескен зерттеулері маталардың механикалық қасиеттерінің киімнің орналасуына әсерін зерттеу арқылы конструктивтік шешімдерді оңтайландырудың жаңа мүмкіндіктерін ашады [7]. АҚШ-тағы JROTC бағдарламаларында полиэстер немесе микроталшық қосылған аралас маталарды қолдану күтімнің жеңілдігін және төзімділікті қамтамасыз етеді [8]. Терморегуляцияға ие және ультракүлгін сәуледен қорғайтын «ақылды» материалдар белсенді түрде зерттелуде [9].

W. Yu киімнің орналасуын субъективті бағалаудың қолданушылардың қанағаттануына әсер ететін маңызды фактор екенін атап көрсетеді [10]. Модульдік тәсіл (Британдық кадет корпустары мысалында) формалық киімді әртүрлі мақсаттарға – парадтарға, жаттығуларға немесе күнделікті киюге бейімдеуге мүмкіндік береді [11]. D.E. Kim және K. LaBat киімнің 3D-симуляциясын виртуалды модельдеудің жоғары дәлдігін көрсетеді [12]. Әскери форманы жобалаудағы ғаламдық тенденциялар әртүрлі даму бағыттарын көрсетеді: А.В. Путиловтың еңбектерінде технологиялық

жаңғыртуға және аддитивті өндіріс принциптерін енгізуге баса назар аударылады [13], Израильдің Kasda (2025) жабдықтау жүйесіне тән функционалдық модульділік пен материалдардың бейімделгіштігіне басымдық беріледі [14]. Арнайы қызығушылық тудырады Қытай тәжірибесі, онда 3D-антропометрияның терең интеграциясы көпшілік әскери бөлімшелер үшін бой-жас салмақ параметрлерін оңтайландыруға мүмкіндік берді [15].

Жобалау стандарттарына сыни шолу. Форманың шектеулі функционалдығы жоғары қысымға ұшырайтын аймақтарды (иық, бел және қолтық асты) елемеумен көрініс табады, бұл стройлық жаттығулар кезінде қозғалыс еркіндігін шектейді және ұзақ уақыт кию кезінде қиындықтар туғызады. Климаттық жағдайларға жеткілікті бейімделмеу, әсіресе Қазақстанның шұғыл континенталды климаты үшін, өзекті мәселе болып табылады (1-кесте). ҚР Қарулы Күштерінің ересек әскери қызметшілерге арналған MultiCam біртұтас дала формасына көшуі әскери лицейлер оқушыларына арналған форманың мәселесін шешпейді [16]. Ескірген технологиялар мен материалдарды қолдану (ауыр, дем алмайтын маталар) және психологиялық аспектілерді (форма адамның өзін-өзі бағалауы, концентрациясы мен оқудағы нәтижесіне әсері) елемеу мәселені одан әрі ушықтырады.

Кесте 1

Әскери киімді жобалаудың халықаралық стандарттарына салыстырмалы талдау

Ел	Жобалау тұжырымдамасы	Негізгі технологиялық шешімдер	Қазақстандағы бейімдеу мүмкіндіктері
АҚШ	Біртұтастық және көпқабаттылық	Модульдік дизайн және тозуға төзімді аралас маталар	Көпфункционалды қабаттарды және модульдік кесу элементтерін енгізу
Ұлыбритания	Антропометриялық дәлдік	Дене пішімін ескере отырып, форманы бейімдеуге арналған адаптивті жүйелер	Өлшемдік сипаттамаларды жүйелі түрде бақылау әдістемелерін қолдану
Израиль	Климаттық оңтайландыру	Гибридтік материалдар, желдету жүйелері	Қатаң континенталды климатқа арналған терморегуляцияға ие кірістірулерді қолдану
Ресей	Цифрлық үлгі (лекала)	Дәлелденген стандартты өлшем торлары негізінде САПР жүйесін қолдану	Үлгілерді (лекалдарды) жобалау мен градациялаудың автоматтандырылған жүйелеріне көшу
Қытай	Материалдардың өңделу мүмкіндігі	Берілген пайдалану сипаттамаларына ие көпфункциялы материалдар	Гигиеналық қасиеттері жетілдірілген тоқыма өнімдерін пайдалану

Зерттеу шарттары мен әдістері. Қазақстандық жасөспірімдерге арналған әскери киімнің ыңғайлылығы мен функционалдығын бағалау аясында «Арыстан» мамандандырылған лицейінің 208 оқушысынан антропометриялық көрсеткіштер алынған және олардың физикалық белсенділігі бағаланған. Жұмыста контактті антропометрия әдістері мен

сауалнама комбинациясы қолданылды. Морфологиялық профильді дәл анықтау үшін стандартты өлшем алу әдісі пайдаланылды. Сауалнама формалық киімнің пайдалану кемшіліктерін және физикалық жүктемелер кезінде субъективті ыңғайлылық деңгейін анықтауға мүмкіндік берді.

Антропометриялық өлшемдер 2024 жылғы қыркүйектен 2025 жылғы мамырға дейінгі аралықта тұрақты бой өлшейтін құрал (стационарлық ростоомерді) (дәлдігі ±1 мм) және SEGA 803 медициналық таразысын (дәлдігі ±0,1 кг) қолдану арқылы жүргізілді. Алынған деректерді өңдеу IBM SPSS Statistics 26.0 бағдарламасының корреляциялық және статистикалық әдістерін қолдану арқылы жүзеге асырылды.

Инновациялық шешімдер. Зерттеудің инновациялық әлеуеті стандартты лекалдардан адаптивті жобалау принциптеріне көшу арқылы жүзеге асырылды. Бұл тәсілдің ғылыми жаңалығы орташа параметрлерден бас тартып, жасөспірімдердің нақты өсу динамикасы мен қозғалыстарын ескеретін конструктивтік-технологиялық шешімдерді әзірлеуге негізделген. Ұсынылған әдістеме S. Gill-дың динамикалық антропометрия концепциясына, сондай-ақ A. Vanderploeg зерттеулеріне сүйенеді, онда 3D-моделдеу технологияларын және адаптивті жобалау элементтерін енгізу персонализирленген, эргономикалық талаптарға сай жоғары деңгейдегі өнімдер жасауға мүмкіндік беретіні көрсетілген [17,18]. Негізгі шешім ретінде функционалдық элементтерді ең жоғары жүктелетін аймақтарға біріктіру таңдалды: иық белдеуі, шынтақ және тізе буындары. Бұл шешімдердің жүзеге асырылуы киімнің жасөспірім қозғалыстарының динамикасына бейімделуіне, сонымен қатар қорғаныштық және эстетикалық қасиеттерін жоғалтпауына мүмкіндік береді. Өлшемдік градацияны оңтайландыру және еркін қоныстану үшін қосымша мәндерді нақтылау иық белдеуі мен буындар аймағындағы статикалық және динамикалық кедергіні азайтуға мүмкіндік береді. Ұсынылған шешімдер форманың тозуға төзімділігін арттырып, әскери лицей оқушыларының физиологиялық ерекшеліктеріне функционалды сәйкестігін қамтамасыз етеді.

Зерттеу құралдары мен үдерістері. Нәтижелердің сенімділігін қамтамасыз ету мақсатында қатысушыларды қатаң іріктеу және шығарылу критерийлерін қолдана отырып, бір мезгілдік (кросс-секциялық) зерттеу дизайны пайдаланылды.

Қамту көрсеткіштері: «Арыстан» мамандандырылған лицейінің 14-17 жас аралығындағы оқушылары; әскери формалық киімді тұрақты түрде кию (аптасына кемінде 5 күн); ақпараттандырылған келісімнің болуы.

Шығарылу көрсеткіштері: қаңқа-бұлшықет аппаратының ауыр созылмалы аурулары; физикалық дайындықтан уақытша босатылу; сауалнаманы толық толтырмау (сұрақтардың 80%-дан азын жауап беру).

Аталған көрсеткіштер сақтау арқылы әскери лицей оқушыларының мақсатты тобы үшін параметрлері біртекті үлгі қалыптастырылды. Үлгінің көлемі (n = 208) лицей көрсеткіштерінің жалпы саны мен корреляциялық талдау үшін статистикалық сенімділік талаптарын ($p>0,05$) ескере отырып анықталды.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. *Үлгінің әлеуметтік-демографиялық және антропометриялық сипаттамасы:* зерттеуге «Арыстан» колледжінің 208 студенті қатысты. Жыныстық құрам: ер балалар – 205 адам (98,6%); әйелдер – 3 адам (1,4%).

Жас топтары: 14 жас – 29 респондент (13,9%); 15 жас – 64 респондент (30,8%); 16 жас – 70 респондент (33,7%); 17 жас – 45 респондент (21,6%).

Физикалық белсенділік деңгейі: жоғары – 104 адам (50,0%); орташа – 99 адам (47,6%); төмен – 4 адам (1,9%).

Респонденттердің бойы: 150–160 см – 4 адам (1,9%); 161–170 см – 37 адам (17,8%); 171–180 см – 108 адам (51,9%); 180 см-ден жоғары – 58 адам (27,9%).

Салмақ: 40-50 кг – 6 адам (2,9%); 51-60 кг – 44 адам (21,2%); 61-70 кг – 155 адам (74,5%).

Дене бітімі типтері: Нормостеникалық (орташа дене бітімі) – 160 адам (76,9%); Астеникалық (сіңірлі, жіңішке дене бітімі) – 25 адам (12,0%); Гиперстеникалық (құлашты, коренасты дене бітімі) – 21 адам (10,1%).

Арқаның ерекшеліктері: бұзылулар жоқ – 174 адам (83,7%); сколиоз – 17 адам (8,2%); иілгіштік (сутулость) бар – 16 адам (7,7%).

Жүргізілген талдау 15-17 жас аралығындағы физикалық белсенділігі жоғары және орташа жасөспірімдер арасында басым болуымен сипатталады, бұл оны жасөспірімдерге арналған әскери киімнің эргономикалық және антропометриялық параметрлерін талдау үшін репрезентативті етеді. Антропометриялық және корреляциялық көрсеткіштердің толық таралуы 2 және 3-кестелерде көрсетілген.

Кесте 2

Респонденттердің кешенді антропометриялық деректері (пайыздық көрсеткіштермен)

Параметр	Санат	Саны	Пайызы, %
Жынысы	Ер	205	98,6
	Әйел	3	1,4
Жас	14 жас	29	13,9
	15 жас	64	30,8
	16 жас	70	33,7
	17 жас	45	21,6
Физикалық белсенділік	Жоғарғы	104	50,0
	орта	99	47,6
	төмен	4	1,9
Бой	150-160 см	4	1,9
	161-170 см	37	17,8
	171-180 см	180	51,9
	> 180 см	58	27,9
Салмағы	40- 50 кг	6	2,9
	51- 60 кг	44	21,2
	61-70 кг	155	74,5
Дене құрылысы	Нормостеникалық	160	76,9
	Астеникалық	25	12,0
	Гиперстеникалық	21	10,1
Арқаның қалпы	Бұзылулар жоқ	174	83,7
	Сколиоз бар	17	8,2
	Иілгіштік (сутулость) бар	16	7,7

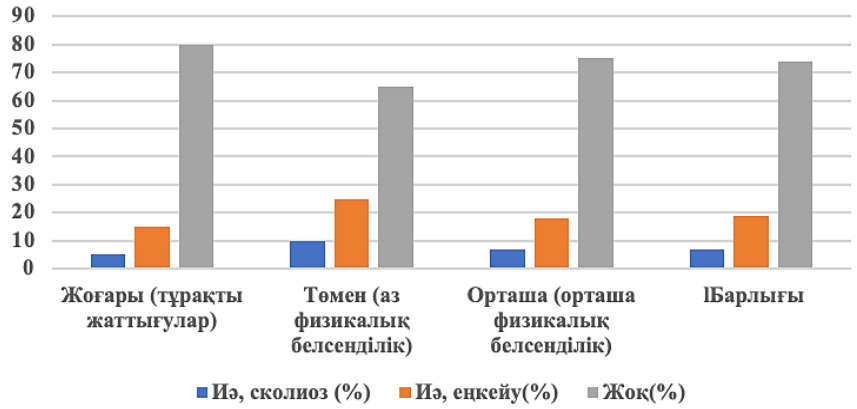
Кесте 3

Кеңейтілген корреляциялық талдау

Параметрлер	корреляциялық коэффициенттер	Р-мәні
Физикалық белсенділік – Арқаның қалпы	0,72	<0,001
Физикалық белсенділік – Дене бітімі	0,68	<0,001
Бой — Салмақ	0,81	<0,001
Жас – Дене белсенділігі	0,64	<0,001
Арқаның қалпы – Дене бітімі	0,59	<0,002

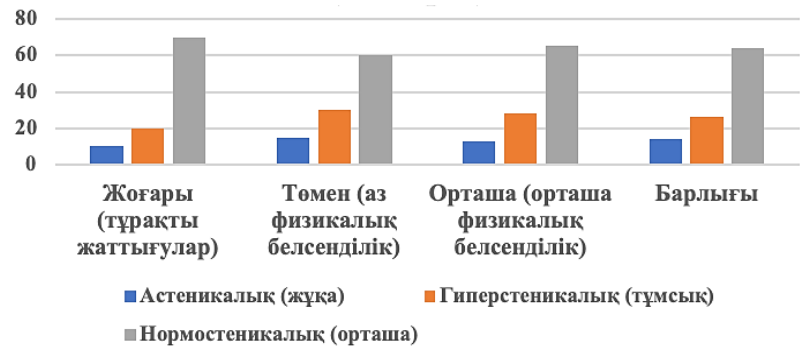
Алынған деректердің өзара байланысын интерпретациялау. Статистикалық талдау формалық киімді жобалау үшін маңызды бес негізгі өзара байланыстарды анықтады.

1. Негізгі корреляциялық байланыстар: Статистикалық талдау (r=0,72; p<0,001) күшті оң корреляцияны көрсетті. Физикалық белсенділігі төмен лицей оқушыларының 25%-ында иық қисықтығы анықталды, бұл орташа (8,1%) және жоғары белсенділік (6,7%) деңгейіндегі оқушыларға қарағанда едәуір жоғары көрсеткіш болып табылады. Омыртқа жотасының қисаюы (сколиоз) барлық топтарда шамамен бірдей жиілікте кездеседі (8-9%), тек төмен физикалық белсенділік деңгейі бар респонденттерде ерекшеленеді. (1-сурет).



Сурет 1. Дене сымбатының (осанканың) физикалық белсенділік деңгейіне байланысты таралуы, %

2. (r=0,68; p <0,001): физикалық белсенділігі төмен оқушылардың 25%-ында гиперстеникалық дене бітімі байқалды, ал орташа және жоғары белсенділік көрсеткіштері бар топтарда бұл көрсеткіш 12%-ды құрады. Астеникалық (жіңішке) дене бітімі орташа деңгейдегі физикалық белсенділігі бар оқушыларда жиі кездеседі (16,2%) және жоғары белсенділіктегі оқушыларда бұл көрсеткіш 8,7% болды. Нормостеникалық тип үлгісі респонденттердің 76,9%-ында физикалық белсенділік деңгейіне қарамастан басым болды (2-сурет).

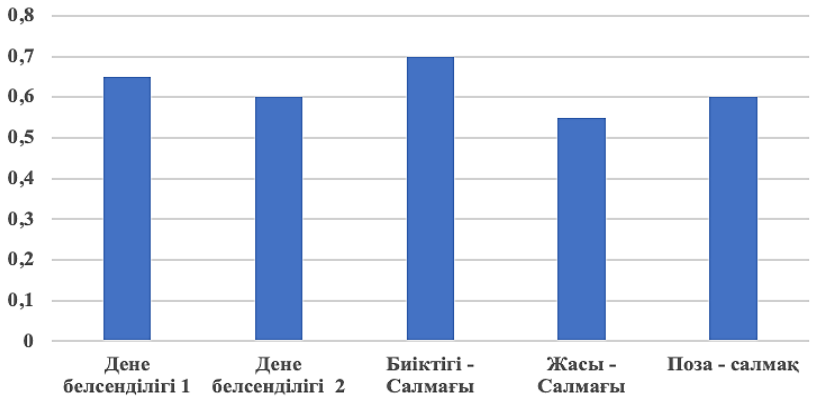


Сурет 2. Физикалық белсенділікке байланысты дене бітімінің типологиясы, %

3. Бой ұзындығы мен салмақтың арақатынасы (r=0,81; p <0,001): өте күшті корреляция анықталды, бұл физикалық дамудың пропорционалдылығын көрсетеді. Респонденттердің басым бөлігі (51,9%) бойы 171–180 см және салмағы 61–70 кг аралығында.

4. Жас ерекшелігі мен физикалық белсенділік статистикалық талдау (r=0,64; p<0,001) корреляцияны үлгінің жас құрылымымен байланыстырады, 15–16 жас аралығындағы жасөспірімдердің 64,5%-ы ең жоғары физикалық белсенділік деңгейін көрсетті.

5. Дене қалпы мен дене бітімінің байланысы статистикалық талдау бойынша (r=0,59; p<0,002) орташа корреляцияны көрсетті, омыртқа қисаюы жоқ респонденттердің 83,7%-ында нормостеникалық дене бітімі басым болды (3-сурет).



Сурет 3. Антропометриялық көрсеткіштер мен физикалық белсенділіктің өзара байланысы

Анықталған корреляциялық байланыстар тәрбиеленушілердің өмір салты мен олардың морфологиялық дамуы арасында статистикалық тұрғыдан мағыналы байланыс бар екенін көрсетеді, бұл формалы киімнің конструктивтік параметрлерін нақтылауға объективті негіз болады. Биометриялық деректерді автоматтандырылған жобалау жүйелеріне интеграциялау қажеттілігі заманауи зерттеулерде өлшемдік типологияларды оңтайландыру мәселелерінде ерекше атап көрсетіледі [3,12]. Алынған нәтижелер әскери киім-жабдықты жаңғырту бойынша ҚР Қорғаныс

министрлігінің жоспарланған реформаларын ескере отырып, эргономикалық киім дайындауға ғылыми негіз береді [19].

Формалық киімнің функционалдығын талдау. Функционалдық сипаттамаларды бағалау проблемалық аймақтарды анықтады. Қалталардың ыңғайлылығы 17% респонденттер тарапынан атап өтілді, сонымен бірге олардың саны мен тереңдігін көбейтуге ұсыныстар білдірілді. Реттеу элементтерінің болуы 38% сауалнамаға қатысушылар үшін қажетті деп танылды. Кешенді бағалау елеулі кемшіліктерді көрсетті. Сыншы көрсеткіш ретінде 75,7% респонденттерде ыңғайсыздық аймақтарының болуы анықталды; ең проблемалық деп иық және бел аймақтары танылды. Оқушылардың едәуір бөлігі (66,7%) форманың отырғыштығына қанағаттанбағандықтарын білдірді. Сауалнама деректері бойынша лицейдің 50% тәрбиеленушілері аралас маталарды (мақта + синтетика) таңдаған, ал 30% – таза мақтаны таңдаған. Антропометриялық деректерді қолданыстағы стандарттармен салыстырмалы талдау (4-кесте) эргономика және өлшем типологиясы бойынша сәйкестіктер мен маңызды ауытқуларды анықтады.

Респонденттердің көпшілігі (51,9%) стандартты өлшем сызбаларына сәйкес келеді (171-180 см), алайда 27,9% биіктігі 180 см-ден жоғары оқушылар үшін өлшем қатарын кеңейту қажет. Дененің құрылымдық типтерін есепке алуда критикалық сәйкессіздік анықталды: стандартты өлшем сызбалары нормостеникалық типке бағытталған (76,9%), ал астеникалық (12,0%) және гиперстеникалық (10,1%) дене бітіміне ие тәрбиеленушілер форманы таңдау кезінде қиындықтарға ұшырайды.

Кесте 4

Отандық әскери форманың жобалық шешімдердің салыстырмалы кестесі

Конструкциялық түйін	Қолданыстағы стандарттың кемшіліктері	Ұсынылатын жоба шешімдері
Иық аймағы	Тұрақтандырылған иық буындары, қысым және қозғалыс динамикасының шектеулері	Эластикалық кірістірулер мен жұмсақ астарлармен жабдықталған, реттелетін иық буындары
Бел аймағы	Шектеулі реттеу мүмкіндігі, әртүрлі дене бітімдерінің эргономикалық параметрлеріне сәйкес келмеуі	Эластикалық секциялармен және жасырын тартқыш жүйесімен жабдықталған адаптивті белдік
Қалталар	Кіші сыйымдылық, бекіткіштердің болмауы және эргономикалық талаптарға сәйкес келмеуі	Тереңдікті арттыру және сенімді бекіткіштерді (сырғытпа, түймелер) енгізу
Дене температурасын реттеу	Матаның төмен ауа өткізгіштігі, вентиляцияның болмауы	Мұқият таңдалған мақта үлесі жоғары қоспалы маталар, ылғалды сыртқа шығаратын кірістірулер және антибактериалды қаптамалар
Арқа мен омыртқаны ұстау	Денеңізді түзетуге арналған арнайы элементтердің болмауы (қисаю және сколиоз жағдайында)	Күшейтілген арқалық бөлшектері және реттелетін тартқыштар жүйесі
Өлшем торы	Орташа антропометриялық өлшемдерге негізделген, астеник және гиперстеник дене бітімдерін ескермейтін тәсіл	Бой және дене көлемі көрсеткіштерінің диапазонын кеңейту және қосымша реттеу механизмдерін енгізу

208 сауалнамаға қатысушы (респондент) қамтыған антропометриялық талдау физикалық параметрлердің елеулі вариативтілігін анықтады: нормостеникалық дене бітімі басым болғанымен (76,9%), лицей тәрбиеленушілерінің айтарлықтай бөлігі астеникалық (12,0%) және гиперстеникалық (10,1%) дене бітіміне ие болып, бұл өлшем қатарын кеңейтуді талап етеді. Физикалық белсенділік деңгейі мен поза көрсеткіштері арасындағы маңызды корреляциялар (r=0,72, p<0,001), сондай-ақ физикалық белсенділік пен дене бітімі типі арасындағы корреляциялар (r=0,68, p<0,001) әскери оқу орындарының оқушыларының физикалық дамуы динамикасын ескере отырып, формалық киімді жобалауда интегративті тәсілдің қажеттілігін көрсетеді.

Күтілетін нәтижелер: Қолданыстағы форманы талдау жүйелік кемшіліктерді анықтады: респонденттердің 75,7%-ы ыңғайсыздық аймақтарының бар екенін, негізінен иық және бел аймақтарында екенін көрсетті, ал оқушылардың 66,7%-ы өнімдердің отырғышына қанағаттанбаушылық білдірді. Халықаралық стандарттармен салыстырмалы талдау озық шешімдерді бейімдеудің перспективтілігін көрсетті: модульдік дизайн, қоспалы маталарды қолдану (респонденттердің 50%-ы осыны таңдады) және реттелетін конструкциялық элементтерді енгізу (оқушылардың 38%-ы сұраныс білдірді). Дайындалған ұсыныстар адаптивті өлшемдік градацияны енгізуді, терморегуляция және ылғалды сыртқа шығару функциялары бар заманауи материалдарды қолдануды, сондай-ақ 3D-модельдеу технологияларын пайдалануды қарастырады

Практикалық нәтижелер мен болашақ мүмкіндіктер. Алынған мәліметтер әскери лицейлердің тәрбиеленушілері үшін формалы киімдерді жобалау бойынша жаңа стандарттар мен әдістемелері қолданылуы мүмкін.

Алдағы зерттеулердің перспективалық бағыттары:

– ҚР әскери оқу орындарының оқушыларының антропометриялық деректерінің цифрлық базасын жасау;

– Форманы жобалау бойынша автоматтандырылған жүйені дайындау;

– Жас ерекшеліктерін ескере отырып 3D-модельдеуді енгізу және өлшемдік шкалаларды әзірлеу;

– - Терморегуляцияға арналған инновациялық материалдарды сынау;

– - Конструкцияның психологиялық жайлылыққа әсерін талдау.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу нәтижелері негізінде алынған қорытындылар:

1. Антропометриялық талдау: 208 лицеистің антропометриялық деректері нормостеникалық дене бітімі түрінің басым екенін (76,9%) және бойы жоғары оқушылардың едәуір үлесін (>180 см – 27,9%) көрсетті. Бұл стандартты өлшем торын биіктік бағытында кеңейту қажеттілігін негіздейді.

2. Корреляциялық тәуелділіктер: Физикалық белсенділік, қалып және дене бітімі арасында мағыналы байланыстар анықталды (r = 0,68, p < 0,001). Бұл формалық киімді жобалау статикалық өлшемдерге емес, динамикалық антропометриялық деректерге негізделуі керектігін дәлелдейді.

3. Функционалдық дефицит: 66,7% оқушылар киімнің орналасуына, әсіресе иық белдеуі мен бел аймағында қанағаттанбағанын көрсетті. Респонденттердің 50%-ы иілгіш маталарды енгізу қажеттілігін, ал 38%-ы бекіту жүйесін модернизациялау талабын білдірді.

4. Конструктивтік шешімдер: Кинематикалық жүктеме ең жоғары аймақтарға эластикалық кірістірулер мен реттелетін тартқыштарды енгізуді

қамтитын адаптивті жобалау тәсілі ұсынылды. Бұл формадағы киімді жасөспірімдердің морфофизиологиялық ерекшеліктеріне динамикалық сәйкес келтіруге мүмкіндік береді.

5. Стратегиялық перспективалар: Халықаралық тәжірибені талдау негізінде модернизация векторлары анықталды: модульдік дизайн енгізу, адаптивті өлшем шкалаларын қолдану және цифрлық жобалауға (CAD, 3D-модельдеу) көшу.

Зерттеудің практикалық маңызы – ұсынылған шешімдерді Қазақстан Республикасының әскери білім беру ұйымдары үшін формалы киім жобалау стандарттарына енгізу мүмкіндігінде.

Әдебиеттер тізімі

1. Министерство обороны Республики Казахстан. Официальные приказы и законы [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: https://www.gov.kz/memleket/entities/mod/vacancies/1?lang=ru. – Дата обращения: 15.11.2024.
2. Carr D.J., Wilson C.A., Laing R.M. Anthropometric methods for the successful design of military clothing and equipment // Advances in Military Textiles and Personal Equipment. – 2012. – P. 49-63. [Electronic resource]. DOI: 10.1533/9780857095572.1.49.
3. Ashdown S.P. (Ed.). Anthropometry, Apparel Sizing and Design. – Cambridge: Woodhead Publishing, 2007. – 320 p.
4. Gupta D., Zakaria N. (Eds.). Anthropometry, Apparel Sizing and Design. – Cambridge: Woodhead Publishing, 2014. – 456 p.
5. Petrova A., Ashdown S.P. Three-dimensional body scan data analysis: Body size and shape dependence of ease values for pants fit // Clothing and Textiles Research Journal. – 2008. – Vol. 26, No. 3. – P. 227-252.
6. Hsu C.H. Data analysis of body dimensions for custom clothing design // Journal of Textile and Apparel, Technology and Management. – 2009. – Vol. 6, No. 3. – P. 1-12.
7. Choi M.S., Ashdown S.P. Effect of changes in knit fabric mechanical properties on garment fit // Textile Research Journal. – 2011. – Vol. 81, No. 15. – P. 1617-1626.
8. JROTC Home Page Army Junior Uniform Wear Guide [Electronic resource]. – Access mode: https://jethrojeff.com/. – Date of access: 10.12.2025.
9. British Army Cadet Force Uniform Standards [Electronic resource]. – Access mode: https://armycadets.com. – Date of access: 15.01.2025.
10. Yu W. Subjective assessment of clothing fit // Clothing Appearance and Fit: Science and Technology / Eds. J. Fan, W. Yu, L. Hunter. – Cambridge: Woodhead Publishing, 2004. – P. 31-42.
11. Британская кадетская форма (Combat Cadet 2015) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.army.mod.uk/who-we-are/corps-regiments-and-units/infantry/. – Дата обращения: 10.12.2025.
12. Kim D.E., LaBat K. An exploratory study of users' evaluations of the accuracy and fidelity of a 3D garment simulation // Journal of Textile and Apparel, Technology and Management. – 2013. – Vol. 8, No. 2. – P. 1-15.
13. Путилов А.В. Аддитивные технологии: Принципы, материалы, экономика [Текст] / А.В. Путилов. – Москва: НИЯУ МИФИ, 2017. – 264 с.
14. Kasda. Israeli Army Uniform: Design and Functional Properties [Electronic resource]. – Access mode: https://kasda.co.il/ru/product/israeli-army-uniform. – Date of access: 10.11.2025.
15. Liu Y., Wang J. Analysis of Chinese military clothing size standards based on 3D anthropometry // Journal of Fiber Bioengineering and Informatics. – 2018. – Vol. 11, No. 2. – P. 85-96.

16. В Казахстане введена единая полевая форма MultiCam [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dknews.kz/ru/v-strane/344088-v-kazahstane-vvedena-edinaya-polevaya-forma-multicam. – Дата обращения: 15.11.2024.
17. Gill S. A review of research into the 3D scanning of human bodies for clothing applications // Journal of Fashion Marketing and Management. – 2011. – Vol. 15, No. 4. – P. 475-494.
18. Vanderploeg A. The application of 3D printing technology in the fashion industry // International Journal of Fashion Design, Technology and Education. – 2017. – Vol. 10, No. 2. – P. 170-179.
19. Модернизация военного стиля: как в Казахстане создают новую форму для солдат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.inform.kz/ru/modernizatsiya-voennogo-stilya-kak-v-kazahstane-sozdayut-novuyu-formu-dlya-soldat-89189a. – Дата обращения: 24.02.2025.

Материал редакцияға 27.06.25 түсті, 24.04.26 қабылданды.

Г.Б. Арыстанова[1], Л.Т. Сарттарова[1], М.М. Езиева[2]

[1]Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан
[2]Университет Акдениз, Анталья, Турция

ЭРГОНОМИКА И ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ФОРМЕННОЙ ОДЕЖДЫ ДЛЯ ПОДРОСТКОВ-ВОЕННОСЛУЖАЩИХ: ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ НА ОСНОВЕ АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Аннотация. В статье исследуется проблематика проектирования форменной одежды для подростков специализированного лицея «Арыстан» с точки зрения эргономики и функциональности. Теоретическая значимость работы состоит в обьединении междисциплинарного подхода, интегрирующего антропометрические, эргономические и психофизиологические аспекты. Методология исследования основывается на анализе биометрических параметров 208 респондентов с применением контактной антропометрии и аналитического конструирования адаптивных моделей форменной одежды. Научная новизна определяется фокусом на специфику подростковой морфологии и сравнительным анализом международных стандартов проектирования военной формы. Предложены инновационные конструктивные решения, включающие применение адаптивных эргономических элементов и оптимизацию размерной градации, направленные на улучшение эксплуатационных характеристик с учетом динамики роста подростков. Полученные результаты важны для индустрии специализированной одежды и военно-образовательных учреждений.

Ключевые слова: эргономика, форменная одежда, подростки-военнослужащие, антропометрические исследования, характеристики телосложения, адаптивное конструирование.

G.B. Arystanova[1], L.T. Sarttarova[1], M.M. Yziyeva[2]

[1]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan
[2]Akdeniz University, Antalya, Türkiye

ERGONOMICS AND FUNCTIONALITY OF UNIFORMS FOR ADOLESCENT MILITARY PERSONNEL: APPROACHES TO DESIGN BASED ON ANTHROPOMETRIC STUDIES

Abstract. The article examines the issues of designing uniform clothing for adolescents of the specialized lyceum “Arystan” from the perspective of ergonomics and functionality. The theoretical significance of the study lies in the integration of an interdisciplinary approach that combines anthropometric, ergonomic, and psychophysiological aspects. The research methodology is based on the analysis of biometric parameters of 208 respondents using contact anthropometry and analytical pattern construction of adaptive uniform clothing models. Scientific novelty is determined by the focus on the specific features of adolescent morphology and a comparative analysis of international standards for military uniform design. Innovative structural solutions are proposed, including the application of adaptive ergonomic elements and the optimization of size grading, aimed at improving performance characteristics while taking into account the dynamics of adolescent growth. The obtained results are significant for the specialized clothing industry and military educational institutions.

Keywords: ergonomics, uniform clothing, adolescent military personnel, anthropometric studies, body constitution characteristics, adaptive design.

References

1. Ministry of Defense of the Republic of Kazakhstan. Official orders and laws [Electronic resource]. – 2020. – Access mode: https://www.gov.kz/memleket/entities/mod/vacancies/1?lang=ru. – Date of access: 15.11.2024. [in Russian].
2. Carr D.J., Wilson C.A., Laing R.M. Anthropometric methods for the successful design of military clothing and equipment // Advances in Military Textiles and Personal Equipment. – 2012. – P. 49-63. [Electronic resource]. DOI: 10.1533/9780857095572.1.49.
3. Ashdown S.P. (Ed.). Anthropometry, Apparel Sizing and Design. – Cambridge: Woodhead Publishing, 2007. – 320 p.
4. Gupta D., Zakaria N. (Eds.). Anthropometry, Apparel Sizing and Design. – Cambridge: Woodhead Publishing, 2014. – 456 p.
5. Petrova A., Ashdown S.P. Three-dimensional body scan data analysis: Body size and shape dependence of ease values for pants fit // Clothing and Textiles Research Journal. – 2008. – Vol. 26, No. 3. – P. 227-252.
6. Hsu C.H. Data analysis of body dimensions for custom clothing design // Journal of Textile and Apparel, Technology and Management. – 2009. – Vol. 6, No. 3. – P. 1-12.
7. Choi M.S., Ashdown S.P. Effect of changes in knit fabric mechanical properties on garment fit // Textile Research Journal. – 2011. – Vol. 81, No. 15. – P. 1617-1626.
8. JROTC Home Page Army Junior Uniform Wear Guide [Electronic resource]. – Access mode: https://jethrojeff.com/. – Date of access: 10.12.2025.
9. British Army Cadet Force Uniform Standards [Electronic resource]. – Access mode: https://armycadets.com. – Date of access: 15.01.2025.
10. Yu W. Subjective assessment of clothing fit // Clothing Appearance and Fit: Science and Technology / Eds. J. Fan, W. Yu, L. Hunter. – Cambridge: Woodhead Publishing, 2004. – P. 31-42.
11. British cadet uniform (Combat Cadet 2015) [Electronic resource]. – Access mode: https://www.army.mod.uk/who-we-are/corps-regiments-and-units/infantry/. – Date of access: 10.12.2025. [in Russian]..
12. Kim D.E., LaBat K. An exploratory study of users' evaluations of the accuracy and fidelity of a 3D garment simulation // Journal of Textile and Apparel, Technology and Management. – 2013. – Vol. 8, No. 2. – P. 1-15.
13. Putilov A.V. Additivnye tekhnologii: Printsipy, materialy, ekonomika [Additive Technologies: Principles, Materials, Economics]. – Moscow: NIYaU MIFI, 2017. – 264 p. [in Russian].

14. Kasda. Israeli Army Uniform: Design and Functional Properties [Electronic resource]. – Access mode: https://kasda.co.il/ru/product/israeli-army-uniform. – Date of access: 10.11.2025.
15. Liu Y., Wang J. Analysis of Chinese military clothing size standards based on 3D anthropometry // Journal of Fiber Bioengineering and Informatics. – 2018. – Vol. 11, No. 2. – P. 85-96.
16. A unified MultiCam field uniform has been introduced in Kazakhstan [Electronic resource]. – Access mode: https://dknews.kz/ru/v-strane/344088-v-kazahstane-vvedena-edinaya-polevaya-forma-multicam. – Date of access: 15.11.2024. [in Russian].
17. Gill S. A review of research into the 3D scanning of human bodies for clothing applications // Journal of Fashion Marketing and Management. – 2011. – Vol. 15, No. 4. – P. 475-494.
18. Vanderploeg A. The application of 3D printing technology in the fashion industry // International Journal of Fashion Design, Technology and Education. – 2017. – Vol. 10, No. 2. – P. 170-179.
19. Modernization of military style: how a new uniform for soldiers is being created in Kazakhstan [Electronic resource]. – Access mode: https://www.inform.kz/ru/modernizatsiya-voennogo-stilya-kak-v-kazahstane-sozdayut-novuyu-formu-dlya-soldat-89189a. – Date of access: 24.02.2025. [in Russian].

IRSTI 64.29.81 : 64.29.23

A. Burkitbay[1] – *main author*,
S.Sh. Tashpulatov[2], I.B. Tleulinova[3], Q.Zh. Qaldybek[4]

[1]PhD, Acting Associate Professor, [2]DSc, Professor, [3]PhD Student, [4]Master's Student

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0002-1467-5354 [2]https://orcid.org/0000-0001-5483-2644*
[3]https://orcid.org/0009-0001-8000-7493 [4]https://orcid.org/0009-0000-7487-8818

[1,3,4]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan
[2]Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Tashkent, Uzbekistan

@ *[3]inzhyka@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/YXAX1935

DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF ANTIMICROBIAL TEXTILE MATERIALS BASED ON PLANT EXTRACTS AND BIOPOLYMERS

Abstract. This study investigates the properties of textile materials modified with natural antimicrobial formulations. To impart biocidal characteristics, two types of compositions were utilized. In particular, Composition 1, containing wormwood extract, chitosan, and glycerol, and Composition 2, containing bay leaf extract, hyaluronic acid, and dexpanthenol, were employed for the research. Besides, the GOST 9.060-75 standard was used to evaluate the materials' resistance to microflora, whereasthe GOST 9.048-89 standardwas applied to determine their biocidal activity. It was established that while materials treated with the compositions retain their structural integrity, untreated samples experience molding and degradation. The highest biocidal resistance was observed in the material with the wormwood extract and chitosan-based formulation, which demonstrated complete inhibition of Staphylococcus bacteria growth. Scanning Electron Microscopy (SEM) morphological studies revealed a uniform distribution of biocidal particles on the fiber surfaces. FTIR spectroscopy data indicated changes in the chemical composition of the fibers, expressed in the appearance of bands corresponding to the functional groups of the components used. Furthermore, toxicological testing confirmed the safety of materials treated with natural biocidal components for human skin. The findings provide evidence for the possibility of producing antimicrobial materials that are suitable for medical, sanitary, and hygienic use on the basis of plant extracts and biopolymers.

Keywords: antibacterial materials, biocidal treatment, textiles, natural biocides, wormwood extract, chitosan, hyaluronic acid, dexpanthenol, microbiological testing, FTIR spectroscopy, electron microscopy, microflora resistance.

Burkitbay A., Tashpulatov S.Sh., Tleulinova I.B., Qaldybek Q.Zh. Development and investigation of antimicrobial textile materials based on plant extracts and biopolymers //Mechanics and Technology / Scientific journal. – 2026. – No.2(92). – P.221-230. https://doi.org/10.55956/YXAX1935

Introduction. One of the major areas of advancement in modern textile manufacturing is the development of antibacterial qualities within textile materials. Particular attentionis paid to environmental safety, biocompatibility, and the stability of functional coatings, which is associated with increasing demands on medical,

hygienic, and household products. Analysis of the available literature shows that three main approaches have gained significant momentum in recent years: the creation of composite materials based on cellulose and synthetic fibers; the modification of fiber surfaces with metal nanoparticles and biopolymers; and the use of natural plant extracts and dyes with intrinsic biological activity.

Research by Russian scientists demonstrates a fundamental approach to the formation of bioactive materials based on cellulose and synthetic fibers. Studies [1] examine the selection of active substances, their fixation methods, and their impact on fiber structure, which allows for the regulation of the physical, mechanical, and biological parameters of textile materials. The potential to create composite materials with antimicrobial qualities by blending natural and synthetic components to offer resistance to biodegradation and a wide range of antibacterial activity was confirmed in another publication by the same scientists [2].The production of next-generation textile materials that combine the advantages of synthetic and cellulose fibers is made possible by these well-established patterns.

Metal nanoparticles' broad range of antibacterial action, resilience to pH changes, and capacity for long-lasting effects are their main advantages. As a result, researchers [3] proposed compositions that improve cotton textiles' bioprotective qualities, and [4] showed how well copper nanoparticles mightbe incorporated into cellulose fiber structures to produce a strong bactericidal effect.

Along with chemical modification, physical methods are actively evolving. Plasma activation of fibers, presented in [5], improves the adhesion of antibacterial substances and increases the penetrating power of natural dyes without degrading the strength characteristics of cotton. Thus, surface modification technologies can significantly expand the functional properties of textiles.

One of the most dynamic trends in recent years is the use of plant extracts containing flavonoids, phenolic compounds, tannins, and phytoncides. Research [6] demonstrates the pronounced antimicrobial activity of extracts of the medicinal plants *Andromeda polyfolia* and *Alchemilla subcrenata*.

International publications describe innovative methods for fixing plant extracts to textile fibers, ensuring long-term contact of the material with the skin and reducing the risk of irritation [7]. The use of *Rumex steudelii* extract for the finishing of cotton fabrics has shown a stable antibacterial effect and an environmentally friendly process [8].

Particular attentionis paid to materials obtained through natural dyeing, in which the dyes themselves possess antimicrobial properties. The effectiveness of pitahaya extract in wool dyeing is confirmed by data on its persistent antimicrobial effect and high color uniformity [9]. In addition to offering vibrant color, natural dyes for cotton and silk have antibacterial properties, especially when paired with biopolymers like shellac or chitosan [10-12,16].

Biopolymer systems stand out as promising platforms for the fixation of natural agents. Chitosan, due to its positively charged structure, ensures excellent adhesion to cellulose fibers and enhances the biological activity of applied extracts, as confirmed by scientific studies [17], demonstrating the sustained preservation of antibacterial properties in chitosan coatings.

A number of analytical works have systematized current approaches to the creation of antimicrobial textile materials. Researchers argue that while natural agents are preferable in terms of biocompatibility, environmental friendliness, and safety for human skin, they are frequently less effective than synthetic ones in terms of duration of action [13,14].

The potential of natural dyes as substitutes for conventional chemical treatments has been explored in recent publications, particularly with regard to medical textiles [15,18,19]. The simultaneous achievement of bioprotection, environmentally responsible dyeing, and enhanced material functionality is made possible by the use of natural pigments and extracts.

Principally for cotton and silk fabrics, combined techniques like the utilization of plant extracts in a chitosan system show great prospect [20].

Current research findings indicate that the textile industry will remain focused on developing and utilizing biocompatible, eco-friendly, and natural ways to provide a functional product. In this way, the following new opportunities exist:

– the use of natural dyes andplant extracts as non-harmful antimicrobial agents;

– the application of biopolymers (chitosan, shellac) to enhance adhesion and biological activity of coatings;

– physicochemical modification of fiber surfaces, including plasma treatment;

– the development of biocidal compositions for cellulose and other fibers that provide adjustable functionality.

These methods serve as the scientific and technological basis for the development of next-generation materials with high bioprotective efficacy, safety, and environmental friendliness.

Materials and methods. The main research object in this study was sterile cotton gauze, known as a bandage.

To impart biocidal properties to the textile material, the following antimicrobial formulations were applied:

Composition 1: wormwood extract – 0.5%, chitosan – 1%, glycerin – 5%, water – up to 100%.

Processing method: The wormwood extract was mixed with a solution of chitosan and glycerin. The required amount of water was added to achieve the final solution volume. The textile material (gauze) was immersed in the resulting solution for impregnation and then dried at 80°C for 15 minutes.

Composition 2: bay leaf extract – 1%, hyaluronic acid – 1%, dexpanthenol – 3%, water – up to 100%.

Processing method: The bay leaf extract was mixed with a solution of hyaluronic acid and dexpanthenol. The required amount of water was added to achieve the final solution volume. The textile material (bandage) was immersed in the resulting solution for impregnation and then dried at 80 °C for 15 minutes.

Component properties:

Wormwood (Artemisia spp.) exhibits bactericidal, anti-inflammatory, and healing properties; however, at high concentrations, it contains the toxic compound thujone.

Chitosan is a natural polysaccharide polymer that is a derivative of chitin, such as that found in crustacean shells. It has properties that allow it to regenerate andbe antifungal and bactericidal.

Glycerol acts as a humectant that keeps moisture on the surface of wounds, which is responsiblefor improving the body's ability to heal. Also, glycerol has biocidal properties and does not irritate the skin.

*Bay leaf (Laurus nobilis)*has engaging properties that make it suitable for use as a dressing, including its ability to have antimicrobial, anti-inflammatory, and antioxidant properties.However, its biocidal action should be strengthened with safe chemical agents, much like any component produced from plants.

*Hyaluronic acid*is asubstance that is used to hydrate or restore skin.It advancesthe migration of cells, encourages the formation of new blood vessels (angiogenesis), and maintains the optimal level of moisture for the wounded tissue.

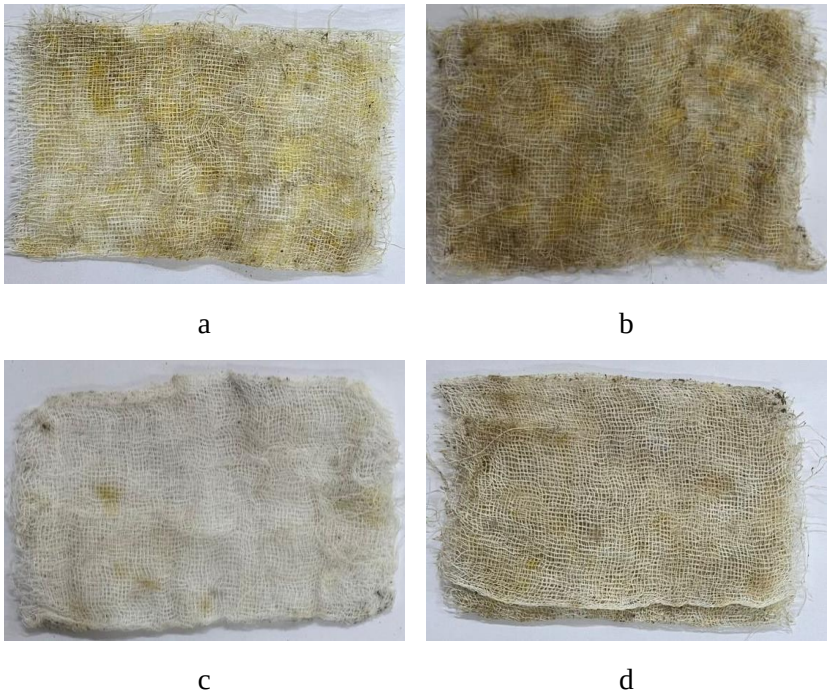
Dexpanthenol (provitamin B5) is a moisturizing and soothing component that accelerates epithelialization and promotes faster tissue repair.

During this study, several complex research methods were used: the biocidal activity of the treated materials was determined according to GOST 9.060-75 and GOST 9.048-89 standards. Morphological and structural analyses were performed using a field-emission scanning electron microscope (JSM-6490LA, Japan) and a Fourier-transform infrared (FTIR) spectrometer (Spectrum-65 model).

Research results and discussion. The application of antibacterial textile materials containing natural components represents a promising area of medical science. Such materials not only effectively combat pathogenic microflora but also promote safe and rapid recovery of skin tissues.

In order toevaluate the antimicrobial resistance of the textile materials treated with the two different formulations, the samples were exposed to soil microflora in accordance with the GOST 9.060-75 standard.

The untreated material samples exposed to microflora began to mold and decompose. In contrast, the materials treated with the proposed compositions did not experience significant structural degradation (Fig. 1). The study showed that the material treated with the composition based on wormwood extract and chitosan exhibited the greatest biocidal resistance.



a, b – untreated material; c – material treated with Composition 1; d – material treated with Composition 2.

Fig. 1. Materials exposed to microbial flora

To further quantify the biocidal efficacy of the treated materials, a microbiological study was conducted according to the GOST 9.048-89 standard. The

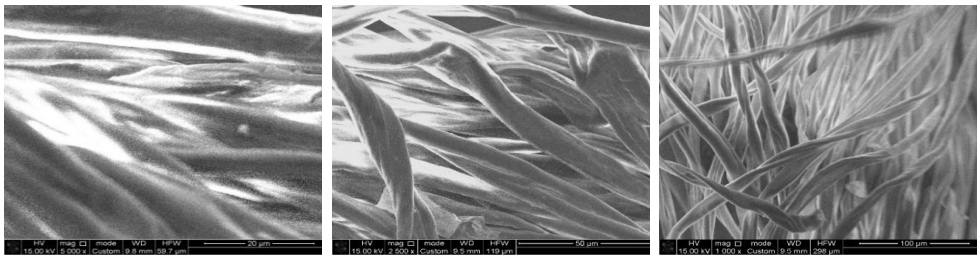
textile material treated with Composition 1 demonstrated pronounced inhibitory activity against bacteria of the *Staphylococcus* genus: there was no microbial growth around the sample (Fig. 2).

1 – untreated sample; 2 – sample treated with the wormwood extract–chitosan–glycerin formulation; 3 – sample treated with the bay leaf extract–hyaluronic acid–dexpanthenol formulation.

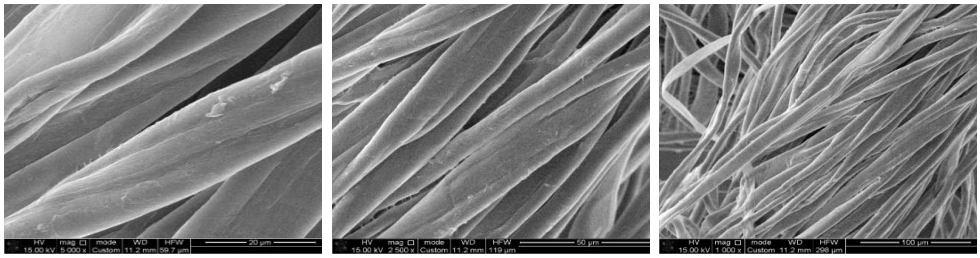
Fig. 2. Resistance of the textile material to *Staphylococcus* bacteria

Staphylococcus is an opportunistic pathogen commonly found on the skin; when the immune system is weakened or the bacteria enter a wound, it can cause infection and interfere with normal tissue healing.

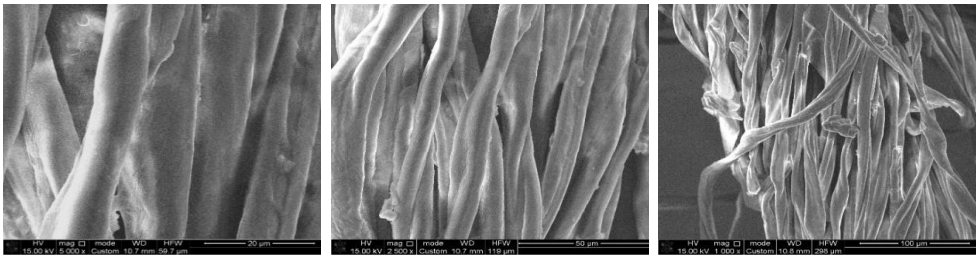
In addition, morphological changes in the treated fibers were examined using scanning electron microscopy (SEM). The structure of the cotton fibers is shown in Figure 3. A uniform distribution of biocidal particles on the fiber surfaces was observed.



Untreated sample



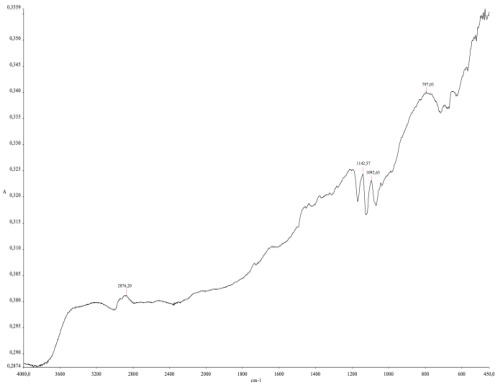
Sample treated with Composition 1



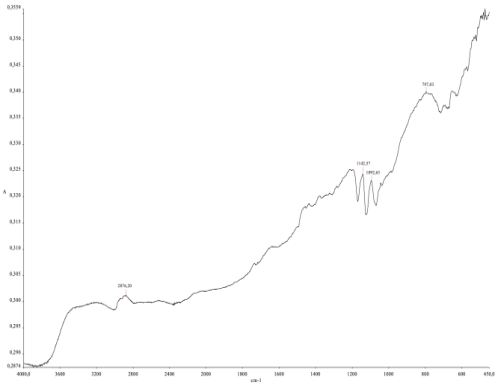
Sample treated with Composition 2

Fig. 3. Scanning electron microscopy images of the cotton material

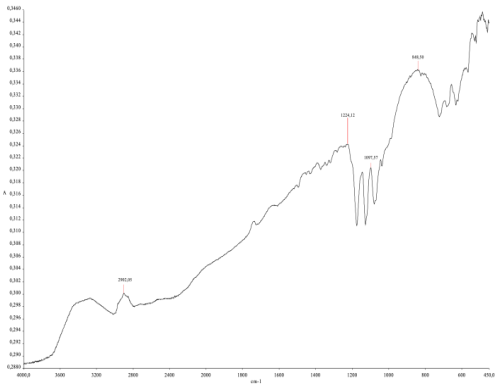
Changes in the chemical composition of the cotton fiber surface after treatment with the natural-component-based antimicrobial formulations were also investigated using Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy (FTIR spectrometer, model “Spectrum–65”).



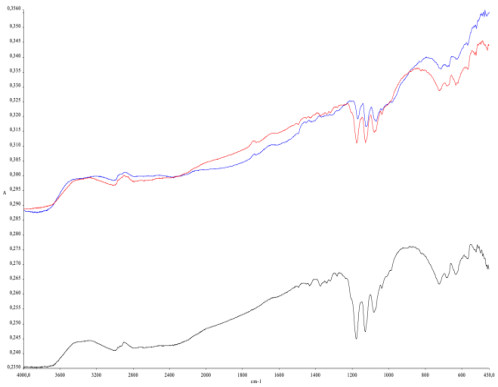
a) FTIR spectrum of the untreated material



b) FTIR spectrum of the material treated with the wormwood extract–chitosan formulation



c) FTIR spectrum of the material treated with the bay leaf extract–hyaluronic acid–dexpanthenol formulation



d) Comparative graph of the IR spectra (a, b, c) of the fabric samples:
a – black curve, b – blue curve, c – red curve

Fig. 4. IR spectra of the textile material before (a) and after treatment (b, c) with antimicrobial compositions

Treatment of cotton fabric with a chitosan-glycerol-wormwood extract composition leads to noticeable changes in the IR spectrum (Fig. 4b), confirming the fixation of bioactive components on the fabric surface. The appearance or intensification of bands in the region of 1650 cm^{-1} and 1560 cm^{-1} indicates the presence of amino groups and/or amide bonds (attributable to chitosan). An increase in intensity in the regions around 3300 cm^{-1} and 1040-1100 cm^{-1} suggests the presence of additional O–H and C–O groups (glycerol and possibly components of wormwood extract).

In the IR spectrum (Fig. 4c), a more pronounced and broadened O–H band is observed at ~3300 cm^{-1}, which may indicate an increased content of hydroxyl groups associated with hyaluronic acid and dexpanthenol. New peaks or enhanced intensity in the region of ~1700 cm^{-1} are also detected, characteristic of C=O carbonyl groups present in hyaluronic acid and dexpanthenol. The intensification of the band near ~1600 cm^{-1} may indicate the presence of amide bonds (N–H bending vibrations), typical of dexpanthenol and biopolymers. Changes in band intensities in the 1000–1200 cm^{-1} region suggest interactions with cellulose functional groups, possibly due to hydrogen or chemical bonding with components of the formulation.

The Technical Regulation of the Customs Union TR CU 017/2011 “On the Safety of Light Industry Products” and the regulatory document I.1.1.11-12-35-2004 were followed in conducting toxicological tests. The materials treated with plant-based biocidal agents do not irritate human skin, as the test results illustrated.

Conclusion This study examined a sterile cotton gauze modified with antimicrobial formulations based on natural components. It was shown that the proposed biocidal compositions, including Composition 1 with wormwood extract, chitosan, and glycerol and Composition 2 with bay leaf extract, hyaluronic acid, and dexpanthenol, provide the textile material with pronounced protective properties.

Testing for resistance to soil microflora (GOST 9.060-75) demonstrated that untreated control samples were susceptible to molding and degradation, while the treated materials retained their structural integrity. The highest biocidal resistance was exhibited by the material modified with the wormwood extract and chitosan formulation.

Microbiological tests (GOST 9.048–89) confirmed the pronounced antibacterial activity of the modified textile material, particularly the complete inhibition of *Staphylococcus spp.* growth around samples treated with Composition 1.

Morphological analysis of the fibers using scanning electron microscopy revealed a uniform distribution of biocidal particles on the surface of the cotton fibers.

According to IR spectroscopic analysis, changes in the chemical composition of the cotton fiber surface after treatment were established. For Composition 1, the appearance of bands at 1650 cm^{-1} and 1560 cm^{-1} indicates the presence of amino groups and amide bonds characteristic of chitosan, while increased intensity in the regions around ≈3300 cm^{-1} and 1040-1100 cm^{-1} confirms the presence of additional O–H and C–O groups associated with glycerol and components of wormwood extract. For Composition 2, the enhancement of the ~3300 cm^{-1} band indicates an increased content of hydroxyl groups related to hyaluronic acid and dexpanthenol; the appearance or intensification of bands in the ~1700 cm^{-1} region corresponds to carbonyl (C=O) groups of these components; and the strengthening of the band near ~1600 cm^{-1} confirms the presence of amide bonds. Changes in band intensity within

the 1000–1200 cm^{-1} region are consistent with an increased content of C–O and C–O–C groups characteristic of carbohydrate and polyol structures.

Toxicological testing conducted in accordance with the requirements of Technical Regulation of the Customs Union TR CU 017/2011 confirmed the safety of the developed formulations: the treated materials do not cause skin irritation in humans.

Thus, it has been established that the use of natural biocidal components effectively enhances the biostability of cotton textile materials while maintaining toxicological safety. The developed formulations can be recommended for the production of medical and sanitary-hygienic materials with prolonged antimicrobial properties.

References

1. Dymnikova N.S., Erokhina E.V., Moryganov A.P. Razrabotka biologicheski aktivnykh materialov na osnove tsellyuloznykh i sinteticheskikh volokon [Development of biologically active materials based on cellulose and synthetic fibers] // Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal. – 2022. – Vol. 66, No. 4. – P. 6-13. DOI: 10.6060/rcj.2022664.1.
2. Dymnikova N.S., Erokhina E.V., Moryganov A.P., Kuznetsov O.Yu. Obosnovanie vozmozhnostey polucheniya kompozitov s antimikrobnymi svoystvami na osnove tsellyuloznykh i sinteticheskikh volokon [Substantiation of possibilities for obtaining composites with antimicrobial properties based on cellulose and synthetic fibers] // Inzhenernye biotekhnologii / promyshlennaya biotekhnologiya. – 2024.
3. Tausarova B.R., Rakhimova S.M., Kutzhanova A.Zh., Burkitbay A. Razrabotka kompozitsionnogo sostava dlya pridaniya antimikrobnykh svoystv khlopchatobumazhnoy tkani [Development of composite formulation for imparting antimicrobial properties to cotton fabric] // Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti. – 2015. – No. 3. – P. 75-78.
4. Tausarova B.R., Rakhimova S.M. Tsellyuloznye tekstilnye materialy s antibakterialnymi svoystvami, modifitsirovannye nanochastitsami medi [Cellulosic textile materials with antibacterial properties modified with copper nanoparticles] // CyberLeninka.
5. Li Z., Zhang Y., Xia W., Tang Y., Li Q. Producing natural-colored super-powerful antibacterial cotton with plasma-assisted fiber surface modification // Materials Advances. DOI: 10.1039/D2MA00701K.
6. Zhivetev M.A., Bybin V.A., Kocherygina E.V., Semenova N.V., Putilina T.E., Dudareva L.V., Graskova I.A., Markova Yu.A. Antimikrobnoe deystvie ekstraktov lekarstvennykh rasteniy Andromeda polyfolia i Alchemilla subcrenata [Antimicrobial activity of medicinal plant extracts Andromeda polyfolia and Alchemilla subcrenata] // Khimiya rastitelnogo syr'ya. – 2018. – No. 4. – P. 149-157. DOI: 10.14258/jcprm.2018043846.
7. Oliveira C.S., Rocha A., Antunes J., Silva A., Silva C., Tavaria F.K. Boosting textiles with plant extracts: an advanced sustainable antimicrobial innovation for direct skin applications // 3 Biotech. – 2025. – Vol. 15. – No. 9. – C. 300. DOI: 10.1007/s13205-025-04475-3.
8. Tegegne W., et al. Sustainable antibacterial finishing of cotton fabrics using leaves extract from Rumex steudelii Hochst. // Discover Materials. – 2025. – Vol. 5. – No. 1. – C. 77. DOI: 10.1007/s43939-025-00257-z.
9. Sadannavar M.K., Periyasamy A., Islam S.R., et al. Natural dyeing and antimicrobial functionalization of wool fabrics dyed with Chinese dragon fruit extract // Sustainability. – 2024. – Vol. 16. – No. 16. – C. 6832. DOI: 10.3390/su16166832.
10. Talib A., Fazal-ur-Rehman S.A., Adeel S., Ali A., Ahmad T., Hussaan M., Qayyum M.A. Sustainable isolation and application of plant extract-based natural dye for bio-dyeing of silk fabric // Coatings. – 2023. – Vol. 13. – No. 1. – C. 112. DOI: 10.3390/coatings13010112.

11. Szadkowski B., et al. Bioactive and biodegradable cotton fabrics produced via synergic effect of plant extracts and essential oils in chitosan coating system // PMC.
12. Brudzyńska P., Sionkowska A., Grisel M. Silk textiles dyeing by plant-derived colorant in the presence of chitosan and shellac // Journal of Coatings Technology and Research. – 2023. – Vol. 24. – No. 8. – P. 2761-2771. DOI: 10.1007/s12221-023-00250-4.
13. Bibi A., et al. Synthetic vs. natural antimicrobial agents for safer textiles // RSC Advances. – 2024. – Vol. 14. – No. 42. – P. 30688-30706. DOI: 10.1039/D4RA04519J.
14. Hossain M.M., et al. Advancements of eco-friendly natural antimicrobial agents for textile finishing // Wiley. – 2024. – Vol. 5. – No. 3. – P. 241-276. DOI: 10.1002/pls2.10135.
15. Nateri A.S., Shams-Nateri F. Eco-friendly and sustainable antibacterial functionalization of medical textiles: review of natural dyes with antimicrobial activity // Research Journal. DOI: 10.1016/j.resc.2025.102589.
16. Do K.L., et al. Bioactive Silk Revolution: Harnessing Curcuminoid Dye // PMC.
17. Piccioni M., Peila R., Varesano A., Vineis C. Dyeing improvement and stability of antibacterial properties in chitosan-modified cotton and polyamide 6,6 fabrics // Journal of Functional Biomaterials. – 2023. – Vol. 14. – No. 10. – P. 524. DOI: 10.3390/jfb14100524.
18. Mao D., Xu H. The antimicrobial potential of plant-based natural dyes for textiles // AUTEX Research Journal. – – 2024. – Vol. 24. – No. 1. – C. 20240016. DOI: 10.1515/aut-2024-0016.
19. Reta B.A., et al. Studies on healthcare and hygiene textile materials: natural antimicrobial agents from plant extracts // SAGE Journal. – 2024. – Vol. 11. – No. 2. – P. 73-89. DOI: 10.1177/24723444231215444.
20. Rani J., et al. Eco-dyeing and functional finishing of cotton fabric using chitosan mordant and lotus seed-derived colourant // Textile-Leather Review. – 2024. – Vol. 7. – P. 1039-1060. DOI: 10.31881/TLR.2024.099.

Received: 16 March 2026
Accepted: 05 June 2026

А. Буркитбай[1], С.Ш. Ташпулатов[2], И.Б. Тлеулинова[1], Қ.Ж. Қалдыбек[1]

[1]Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан
[2]Ташкент тоқыма және жеңіл өнеркәсіп институты, Ташкент, Өзбекстан

БИОПОЛИМЕРЛЕР ЖӘНЕ ТАБИҒИ ӨСІМДІК ТЕКТІ ЭКСТРАКТ НЕГІЗІНДЕГІ АНТИМИКРОБТЫҚ ТЕКСТИЛЬ МАТЕРИАЛДАРЫН ЖАСАУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Бұл жұмыста табиғи антимикробтық құраммен модификацияланған ттекстиль материалының қасиеттері зерттелді. Материалға биоцидтік қасиет беру үшін келесі композициялар қолданылды: 1-құрам – жусан сығындысы, хитозан және глицерин; 2-құрам – лавр жапырағының сығындысы, гиалурон қышқылы және декспантенол. Материалдардың микрофлора әсеріне төзімділігі ГОСТ 9.060–75 стандартына сәйкес бағаланды, ал биоцидтік белсенділік ГОСТ 9.048–89 стандарты бойынша анықталды. Зерттеу нәтижелері өңделмеген үлгілердің көгеріп, құрылымдық бұзылуға ұшырайтынын, ал композициялармен өңделген материалдардың өз құрылымын сақтайтынын көрсетті. Ең жоғары биоцидтік төзімділік жусан сығындысы мен хитозан негізіндегі құраммен өңделген материалда анықталды, бұл жағдайда Staphylococcus тектес бактериялардың өсуі толықтай тежелгені байқалды. Сканерлеуші электрондық микроскопия әдісімен жүргізілген морфологиялық зерттеулер биоцидтік бөлшектердің талшық бетінде біркелкі таралғанын көрсетті. ИҚ-спектроскопия деректері бойынша талшықтың химиялық

құрамының өзгеруі анықталып, қолданылған құрам компоненттеріне тән функционалдық топтарға сәйкес жолақтардың пайда болғаны байқалды. Токсикологиялық сынақтар табиғи биоцидтік компоненттермен өңделген материалдардың адам терісі үшін қауіпсіз екенін растады. Алынған нәтижелер өсімдік сығындылары мен биополимерлер негізінде медициналық және санитарлық-гигиеналық мақсатта қолдануға арналған антимикробтық материалдарды әзірлеудің перспективалы екенін көрсетеді.

Тірек сөздер: антибактериялық материалдар, биоцидтік өңдеу, тоқыма, табиғи биоцидтер, жусан сығындысы, хитозан, гиалурон қышқылы, декспантенол, микробиологиялық сынақтар, ИҚ-спектроскопия, электрондық микроскопия, микрофлораға төзімділік.

А. Буркитбай[1], С.Ш. Ташпулатов[2], И.Б. Тлеулинова[1], Қ.Ж. Қалдыбек[1]

[1]Алматинский Технологический Университет, Алматы, Казакстан
[2]Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Ташкент, Узбекистан

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИМИКРОБНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ И БИОПОЛИМЕРОВ

Аннотация. В работе исследованы свойства текстильного материала, модифицированного природными антимикробными составами. Для придания биоцидных характеристик использованы композиций: состав 1 – экстракт полыни, хитозан и глицерин; состав 2 – экстракт лаврового листа, гиалуроновая кислота и декспантенол. Оценка устойчивости материалов к воздействию микрофлоры проводилась в соответствии с ГОСТ 9.060–75, а биоцидная активность определялась по ГОСТ 9.048–89. Установлено, что необработанные образцы подвергаются плесневению и разрушению, тогда как обработанные композициями материалы сохраняют структуру. Наибольшая биоцидная устойчивость выявлена у материала, обработанного составом на основе экстракта полыни и хитозана, при этом отмечено полное подавление роста бактерий рода Staphylococcus. Исследования морфологии методом сканирующей электронной микроскопии показали равномерное распределение биоцидных частиц на поверхности волокон. По данным ИК-спектроскопии установлено изменение химического состава волокна, выражающееся в появлении полос, соответствующих функциональным группам компонентов используемых составов. Токсикологические испытания подтвердили безопасность материалов, обработанных природными биоцидными компонентами, для кожи человека. Полученные результаты показывают перспективность разработки антимикробных материалов на основе растительных экстрактов и биополимеров для медицинского и санитарно-гигиенического назначения.

Ключевые слова: антибактериальные материалы, биоцидная обработка, текстиль, природные биоциды, экстракт полыни, хитозан, гиалуроновая кислота, декспантенол, микробиологические испытания, ИК-спектроскопия, электронная микроскопия, устойчивость к микрофлоре.

ҒТАМР 64.29.33

Г.С. Кенжибаева[1] – *негізгі автор,*
М.Т. Сихимбаева[2]

[1]Техн. ғылым. канд, профессор, [2]Магистр, аға оқытушы
[1]https://orcid.org/0000-0001-6494-835X [2]https://orcid.org/0009-0005-0658-0290
[1,2]М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан Университеті,
Шымкент, Қазақстан
[1]ailana_2000012@mail.ru

https://doi.org/10.55956/AXXE6430

КІЛЕМ ТОҚЫМА ӨНДІРІСІНДЕ ӨРТКЕ ТӨЗІМДІ МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ЖІПТЕРДІ ШЫҒАРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Бұл мақалада кілем тоқу өндірісінде қолданылатын полипропилен негізіндегі синтетикалық жіптердің технологиясы және олардың өртке төзімділігін арттыру жолдары зерттелді. Полипропилен талшықтарындағы физика-механикалық қасиеттерін атап айтқанда тозуға төзімділігі мен беріктігі және экономикалық тиімділігі жоғары болғанымен, олардың жанғыштығы негізгі кеміліктерінің бірі болып келеді. Соған байланысты талшық құрамын антиперендік қоспалармен модификациялау, технологиялық параметірлерін оңтайландыру қарастырылады. Зерттеу барасында полипропилен балқымасындағы көміртек, кремний диоксиді мен алюминий оксиді негізіндегі антиперендер енгізіліп, әр түрлі тығыздықтағы жіптер жасалады. Экструзия, созу, текстурлау мен термобекіту кезеңін жекелеп жіп сапасы анықталады. Жүргізілген тәжірибелер нәтижесінде жіптің тығыздығы артқан сайын жану уақыты мен температурасының өзгеру заңдылықтары айқындалады. Зерттеу нәтижелері бойынша құрамында 92,7% полипропилен, 3% көміртек, 0,3% SıO2, 1% Al2O3 1% жұмсартқыш және 2% бояу бар №4 үлгі ең тиімді өртке төзімді материал ретінде анықталады. Ұсынылған технология бойынша кілем жіптерінің өртке төзімділігін арттырып, олардың пайдалану қауіпсіздігін жақсартуға мүмкіндік береді. Сондай ақ мұндағы ұсынылатын технологиялық құрамы мен өндірістік процестің тұрақтылығын қамтамасыз ету, дайын өнім сапасын арттыруға мүмкіндік береді. Осы алынған нәтижелер кілем өндірісінде қауіпсіз, ұзақ мерзімді және бәсекеге қабілетті өнімдер ретінде шығаруға негіз болады.

Тірек сөздер: кілем тоқу технологиясы, модификацияланған иірім жіп, антиперен қоспалары, отқа төзімді талшықтар.

Кенжибаева, Г.С. Кілем тоқыма өндірісінде өртке төзімді модификацияланған жіптерді шығару технологиясын зерттеу [Мәтін] / Г.С. Кенжибаева, М.Т. Сихимбаева //Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №2(92). – Б.231-244. https://doi.org/10.55956/AXXE6430

Кіріспе. Кілем тоқу өндірісіндегі – жеңіл өнеркісіп маңызды салалардың бірі болып табылады. Қазіргі кезде нарықта жоғары сапалы, ұзақ мерзімді және қауіпсіз өнімдерге сұраныс артып келеді. Осындай талаптарға сәйкес синтетикалық талшықтар, полипропилен негізіндегі жіптердің қолданылуы көп таралуда. Полипропилен талшықтары өздерінің тозуға

төзімділігі және жоғары беріктігі, сондай ақ экономикалық тиімділігімен ерекшеленеді. Сонымен қатар, өңдеуге ыңғайлы, жеңіл әрі ылғалға төзімді болып келеді. Полипропиленнің негізгі кемшіліктерінің бірі-оның тез жанғыштығында. Бұл қасиет кілем өнімдерін пайдалану барысында өрт қауіпсіздігі талаптарына толық жауап бермеуінің себебі болуы мүмкін. Сондықтан қазіргі ғылыми-зерттеу жұмыстарының маңызды бағыттарының бірі – полипропилен талшықтарының өртке төзімділігінің арту жолдарын іздестіру болып табылады.

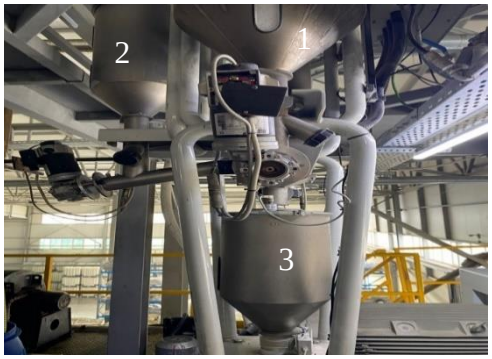
Осы тұрғыда талшық құрамындағы антиперен қоспаларымен модификациялау, беттік өңдеу әдістерін қолдану және өндірістік технологиялық параметірлерді оңтайландыру өзекті мәселелердің қатарына жатады. Әсіресе көміртек, кремний диоксиді және алюминий оксиді сияқты қоспаларды енгізу арқылы материалдық жану қасиеттерін төмендетуге мүмкіндік туғызады.

Бұл мақалада полипропилен негізіндегі синтетикалық жіптердің технологиялық ерекшеліктері зерттеліп, олардың өртке төзімділігін арттыру әдістері қарастырылады. Сонымен қатар, жіп өндірудің негізгі кезеңдері-экструзия, созу, текстурлау мен термобекіту процестерінің әсері талданып, алынған нәтижелер негізіндегі тиімді технологиялық құрам мен шешімдер ұсынылады.

Бұл зерттеу жұмысының тәжірибелік бөлігінде полипропилен негізіндегі синтетикалық жіптерді алу технологиясы қарастырылып, өндірістің барлық негізгі кезеңдері талданады.

Алдымен дайындалған шикізат экструдер бункеріне беріледі (1-сурет), мұнда полипропилен гранулалары, бояғыштар мен антиперендік қоспалар арнайы миксерде біркелкі араластырылады. Біртекті қоспа алу келесі технологиялық операциялардың тұрақтылығын қамтамасыз ететін маңызды шарттары болып табылады.

Келесі кезеңде полипропилен экструдерлік өңдеуге түседі (2-сурет). Бұл процесс бірнеше функционалдық аймақтардан тұрады: бастапқы түйіршіктер қыздыру әсерінен жұмсара бастайды, кейін компрессиялық аймақта тығыздалып, жартылай балқиды, ал одан әрі толық балқып жіктелуі жүреді. Нәтижесінде полипропилен біртекті массаға айналып, қоспалармен толық араласады. Соңында балқыма сүзгіден өткізіліп, фильераға бағытталады, бұл жіптің құрылымдылық біркелігі мен тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

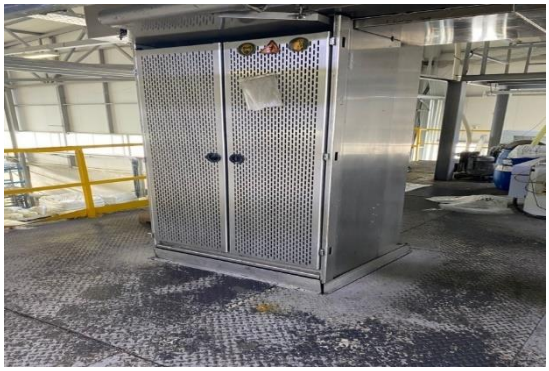


Сурет 1. Экструдерге арналған шикізат беру бункері және миксер: 1 – ПП бункер; 2 – бояу бункері; 3 – миксер

Сурет 2. Экструдердің қыздыру корпусы (жұмыс цилиндрі)

Экструдерден кейін балқыма фильер саңылаулары арқылы өтіп (3-сурет), жіңішке филаменттерге айналады. Жоғары температурадағы талшықтар бағытталған ауа ағынымен тез салқындатылып, бастапқы геометриялық пішімін сақтайды. Бұл кезеңде алынған филаменттер әлі толық құрылымданбағандықтан, олардың қасиеттерін жақсарту үшін өңдеу қажет. Осыған байланысты талшықтар алдымен кептіру шкафында өңделеді (4-сурет), мұнда артық ылғал жойылып, материалдың қасиеттері тұрақтандырылады.

Сурет 3. Экструдердің фильерасы



Сурет 4. Кептіпу шкафы

Кейін салқындатылған филаменттер созу процесіне жіберіледі (5-сурет). Бұл кезеңде талшық бірнеше есе созылып, макромолекулалар бағытталады, нәтижесінде материалдың беріктігі мен серпімділігі артады. Сонымен қатар филамент бетіне майлау жүргізіліп, үйкеліс азайтылады және антистатикалық қасиет беріледі. Одан кейін жіптер текстурлау процесінен өтеді, мұнда оларға ирек құрылым беріліп, көлемділігі мен жұмсақтығы күшейтіледі. Бұл қасиеттер кілем өндірісінде маңызды болып табылатын негізгі сипаттамалар мен пайдалану төзімділігі анықталады. Текстурланған жіптер термобекіту кезінде (шамамен 130ºС) өңделіп, олардың құрылымы тұрақтандырылады және ішкі кернеулер жойылады.

Сурет 5. Филаменттерді созу және майлау

Сурет 6. Филаметтерді катушкаға орау

Өңдеудің келесі сатысында дайын филаменттер катушкаға оралады (6-сурет). Бұл операция талшықтарды сақтау, тасымалдау және кейінгі өңдеуге

дайындау үшін қажет. Орау кезінде кернеу мен жылдамдық параметірлерін дұрыс таңдау жіп сапасының сақталуына тікелей әсер етеді. Өндірістік процестің соңғы кезеңі – сапаны бақылау. Бұл сатыда жіптің сызықтық тығыздығы, механикалық беріктігі, құрылымдық біркелкілігі мен созылғыштығы және өртке төзімділік көрсеткіштері жан-жақты бағаланды. Барлық технологиялық операциялардың өзара байланысы нәтижесінде жоғары сапалы, қауіпсіз және эксплуатациялық қасиеттері жақсартылған полипропилен жіптері алынады.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Зерттеу жүргізу мақсатында отқа төзімді үлгілердің бірі ретінде құрамы полипропилен (PP – 92,7%), көміртектен (3%), кремний диоксидінен (SiO_2 – 0,3%), алюминий оксидінен (Al_2O_3 – 1%), сондай-ақ 1% жұмсартқыш пен 2% бояудан тұратын синтетикалық жіп негізінде дайындалған үлгі алынды. Үлгілер МЕСТ 32088-2013 «Кілем бұйымдарының төсеніштері мен еден жапқыштары. Жанғыштық. Анықтау әдісі мен жіктелуі» талаптарына сәйкес зерттеледі. Кілем төсемелерінің жанғыштығы уротропин таблеткасы арқылы төмен қуатты тұтану көзінің әсерінен көлденеі күйде анықталады. Бұл әдіс материалдық беттік тұтану қасиеттерін бағалауға арналған негізгі эксперименттік тәсілдердің бірі болып табылады. Сынақ барысында «Таблетка» қондырғысы қолданылды.

Зерттеу үшін әр түрлі тығыздықтағы синтетикалық кілем үлгілері (230 ±3) мм өлшемінде квадрат пішінде, әрқайсысы үш данадан дайындалды. Сынақтар 10-30ºС температурада және 20-65% салыстырмалы ауа ылғалдылығында жүргізілді. Үлгі бойынша сынақ камерасының түбіне көлденең күйде, беті жоғары қаратып орналастырылады. Егер үлгі түкті болса, түгі тік бағытта таралады. Үлгінің үстіне металл пластина қойылып, шеттері түзетіледі.

Уоротропин таблеткасы үлгінің ортасына орналастырып, жанған сіріңке арқылы таралады. Таблетка жанған сәттен бастап уақыт есептеліп, сынақ соңына дейін сорғыш шкаф жабық күйде тұрады. Сынақ барысында келесі көрсеткіштер тіркелді: өздігінен түтіндеу уақыты, максималды жану уақыты және толық жану ұзақтығы.

1-кестеде полипропилен негізіндегі жіптерді өндірудің негізгі технологиялық параметірлері көрсетілген. Кілем тоқыма өндірісінде полипропилен жіптерінің құрмы: ПП – 97%, бояу – 2%, жұмсартқыш – 1%. 2-кестеде полипропилен балқымасына қосылған өртке төзімді антиперендер мен қоспалардың пайыздық құрамы көрсетілген. Мәліметтерге сәйкес, қымбат және орташа санаттағы кілемдерде полипропилен иірім жіптері қолданылады, ал арзан кілемдерде иіру кезеңінсіз материал тікелей тоқыма процесіне жіберіледі. Экструдердегі температуралық режимнің 1-5 аймақ бойынша кезең-кезеңімен өзгеруі полипропиленнің біркелкі балқуын қамтамасыз етеді, жіптің құрылымдық тұтастығы мен сапасын арттырады. Температура режимінің бұзылуы жіптің үзілуіне, біртектілігінің төмендеуіне және механикалық қасиеттерінің нашарлауына әкеледі. Сонымен қатар фильера тесіктерінің саны жіп тығыздығына тікелей әсер етіп, өнім сапасын реттеуге мүмкіндік береді.

Кесте 1

Кілем тоқыма өндірісінде полипропилен жіптерін алу технологиясының негізгі параметрлері

№	Кілем түрі	Жіп тығыздығы (dtex)	Қоспа массасы, кг	Фильера тесіктері саны	Экструдер температурасы, ºС (5 аймақ)
1	Қымбат кілемдер	650	ПП – 4 (14 қорда) Бояу – 2 (5 қорда) Жұмсартқыш – 2 (5 қорда)	125	1-аймақ – 215 (шикізатты беру) 2-аймақ – 238 (қысу, жұмсару) 3-аймақ – 238 (толық балқу) 4-аймақ – 235 (гомогенизация) 5-аймақ – 230 (фильера)
		1200	Сол мөлшер	150	Температура тұрақты
		1600	Сол мөлшер	200	Температура тұрақты
2	Орташа кілемдер	1600	ПП – 4 (14 қорда) Бояу – 2 (5 қорда) Жұмсартқыш – 2 (5 қорда)	95	1-аймақ – 215 (шикізатты беру) 2-аймақ – 238 (қысу, жұмсару) 3-аймақ – 238 (толық балқу) 4-аймақ – 235 (гомогенизация) 5-аймақ – 230 (фильера)
		2000	Сол мөлшер	107	1-аймақ – 215 (шикізатты беру) 2-аймақ – 238 (қысу, жұмсару) 3-аймақ – 238 (толық балқу) 4-аймақ – 235 (гомогенизация) 5-аймақ – 230 (фильера)
3	Арзан кілемдер	2300	ПП – 4 (14 қорда) Бояу – 2 (5 қорда)	144	1–3 аймақ: 215-238 (балқу) 4-аймақ – қысыммен шығару 5-аймақ – фильера

Кесте 2

Полипропилен балқымасына қосылған өртке төзімді антиперендер мен қоспалардың пайыздық құрамы

№	PP	Жұмсартқыш	Бояу	Өртке төзімді антиперен Көміртек (С)	Кремний (S_1O_2)	Алюминий (Al_2O_3)
1	92,7%	1 %	2 %	3%	0,3%	1%

Ең тиімді деп танылған №4 үлгінің құрамы: полипропилен – 92,7%, көміртек – 3%, кремний диоксиді – 0,3, алюминий оксиді – 1%, жұмсартқыш – 1%, бояу – 2%. Бұл құрам полипропилен балқымасына өртке төзімді антиперендер мен қосымша компоненттерді енгізу арқылы алынған. Көміртек, кремний диоксиді және алюминий оксиді негізіндегі антиперендер материалдың жанғыштығын төмендетіп, оның термиялық тұрақтылығының арттырады. Ал жұмсартқыш пен бояу технологиялық және эстетикалық қасиеттерін жақсартады. Кілем түріне байланысты қолданылатын технологиялық тәсілдер төмендегідей ерекшеленеді:Қымбат кілемдер-жоғары механикалық беріктік пен максималды өртке төзімділікке ие, құрамында

бірнеше толтырғыштар және қосымша антиперендік өңдеу бар. Орташа кілемдер-механикалық қасиеттер мен өртке төзімділік арасында оңтайлы баланс сақталады, 2-3 түрлі толтырғыш қолданылады. Арзан кілемдер-экономикалық жағынан тиімді, тек негізгі толтырғыштар пайдаланылады және антиперендік өңдеу минималды деңгейде жүзеге асырылады.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Жүргізілген эксперименттік зерттеулер нәтижесінде полипропилен негізіндегі кілем төсемелерінің өртке төзімділік қасиеттері олардың құрамына енгізілген антиперендік қоспалардың мөлшері мен түріне тікелей тәуелді екені анықталды. Зерттелген үлгілердің ішінде №4 құрам (PP-92,7%, C-3%, S_1O_2-0,3%, Al_2O_3-1%, жұмсартқыш-1%, бояу-2%) ең жоғары тиімділік көрсетті.

Сынақ барысында бұл үлгіде жалынның таралу жылдамдығының төмендеуі, өздігінен жанудың қысқаруы және жану процесінің тұрақсыз сипатта өтуі байқалады. Уротропин таблеткасының әсерінен тұтанғаннан кейін жалынның үлгі бетімен таралуы баяулап, кей жағдайларда өздігінен сөну құбылысы тіркелді. Бұл көрсеткіштер кілемнің өртке төзімділік деңгейінің жоғары екені дәлелдеді.

Алынған нәтижелер антиперендердің синергетикалық әсерімен түсіндіріледі. Көміртек жану кезінде қорғаныш қабат түзіп, оттегінің кілем ішіне енуін тежейді. Кремний диоксиді жоғары температурада термиялық тұрақты құрылым қалыптастырып, жылу ағынын азайтады. Алюминий оксиді жылуды сіңіріп, материалдың қызуын баяулатады. Осы компоненттердің кешенді әсері полипропиленнің термиялық бұзылу жылдамдығын төмендетеді.

Әртүрлі тығыздықтағы жіптерден дайындалған үлгілерді салыстыру нәтижесінде жіп тығыздығы артқан сайын кілемнің жану тұрақтылығы да артатыны анықталды. Бұл құбылыс жоғары тығыздықтағы құрылымда жылу мен оттегінің таралуының шектелуімен байланысты. Сонымен қатар, экструдер процесіндегі температуралық режимнің тұрақтылығы жіптің құрылымдық біртектілігін қамтамасыз етіп, оның өртке төзімділік қасиеттеріне жақсы әсер етеді.

Қымбат санаттағы кілемдерде қолданылатын иірім жіптер мен компонентті антиперендік жүйе ең жақсы нәтижелер көрсетті. Орташа санаттағы кілемдерде өртке төзімділік пен механикалық қасиеттер арасында оңтайлы тепе-теңдік байқалады. Ал арзан кілемдерде антиперендердің аз мөлшерде қолданылуына байланысты жанғыштық көрсеткіштері жоғары болады. Осылайша, зерттеу нәтижелері полипропилен негізіндегі кілем материалдарының өртке төзімділігін арттыру үшін көміртек, кремний диоксиді және алюминий оксиді сияқты антиперендерді кешенді түрде қолданудың тиімді екенін көрсетті. Ұсынылған құрам мен технологиялық параметірлер

3-ші кестеде әртүрлі тығыздықтағы (1600, 1800 және 2000 dtex) полипропилен жіптерінен дайындалған кілем үлгілерінің жану процесінің негізгі көрсеткіштері көрсетілген. Алынған нәтижелер жіп тығыздығының материалдың өртке төзімділік қасиетіне айтарлықтай әсер ететінін көрсетті.

1600 dtex тығыздықтағы үлгіде жану уақыты 10 с құрап, жану температурасы 35 °C деңгейінде тіркелді. Максималды жану уақыты 15 с, ал максималды температура 60°C болды. Өшу уақыты 20 с шамасында аяқталды. Бұл көрсеткіштер үлгінің салыстырмалы түрде тез тұтанып, бірақ қысқа уақыт ішінде жанып біткенін көрсетеді.

Кесте 3

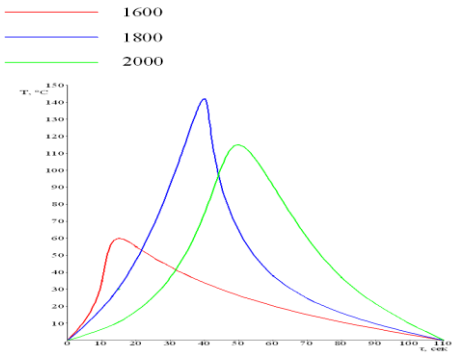
Кілем үлгілерінің жану процесінің негізгі көрсеткіштері

№	Жіп тығыздығы (DTEX)	Жану уақыты, с	Жану температурасы, °С	Максималды жану уақыты, с	Максималды жану температурасы, °С	Өшу уақыты, с	Өшу температурасы, °С
1	1600	10	35	15	60	20	55
2	1800	13	26	40	142	60	38
3	2000	15	30	50	115	80	37

1800 dtex үлгіде жану уақыты 13 с дейін ұлғайып, бастапқы жану температурасы 26 С-қа төмендегені байқалады. Алайда максималды жану уақыты 40 С-қа дейін артып, температурасы 142 С-қа жетті. Бұл үлгіде жану процесі анағұрлым қарқынды және ұзақ созылған. Өшу уақыты 60 с болып, жану тұрақтылығының артқанын көрсетеді.

2000 dtex тығыздықтағы үлгіде жану уақыты 15 с құрап, бастапқы температура 30°С болды. Максималды жану уақыты 50 с, ал температура 115°С деңгейінде тіркелді. Өшу уақыты 80 с-қа дейін созылып, жану процесінің ең ұзақ жүргені анықталды. Бұл жоғары тығыздықтағы құрылымның жануға төзімдірек екенін көрсетеді.

Жалпы алғанда, жіп тығыздығы артқан сайын жану уақыты мен өшу уақытының ұлғаюы байқалады. Бұл материал құрылымының тығыздалуына байланысты оттегінің ішкі қабаттарға енуінің қиындауымен және жылу таралуының баяулауымен түсіндіріледі. Сонымен қатар, жоғары тығыздықтағы үлгілерде максималды жану температурасының өзгеруі антиперендік қоспалардың тиімділігімен және жылу жинақталу ерекшеліктерімен байланысты. Осылайша 2000 dtex үлгі жануға ең төзімді болып табылғанымен, 1800 dtex үлгіде ең жоғары температура (142 °С) тіркелді, бұл оның жану кезінде жылу бөлінуінің жоғары екенін көрсетеді. Ал 1600 dtex үлгі ең тез жанатын материал ретінде сипатталады. Зерттеу нәтижелері полипропилен жіптерінің тығыздығын арттыру арқылы кілем төсемдерінің өртке төзімділік қасиеттерін белгілі бір деңгейде жақсартуға болатынын дәлелдейді. Сонымен қатар, жану температурасын төмендету және жану тұрақтылығын бақылау антиперендік қоспалардың құрамын оңтайландыру қажет. Бұл нәтижелер 1 суретте көрсетілген.



Сурет 1. Әр түрлі тығыздықтағы полипропилен жіптерінен дайындалған кілем үлгілерінің жану процесінің температура-уақыт тәуелділігі

4-кестеде әр түрлі тығыздықтағы (1600,1800 және 2000 dtex) кілем жіптерінің уақытқа байланысты жану және жанбау пайыздық көрсеткіштері берілген.

Кесте 4

Кілем жіптерінің жану және жанбау пайызы

№	Уақыт, с	1600 dtex, жану (%)	1600 dtex, жанбау (%)	1800 dtex, жану (%)	1800 dtex, жанбау (%)	2000 dtex, жану (%)	2000 dtex, жанбау (%)
1	0	0	100	0	100	0	100
2	2	6	94	5	95	4	96
3	4	12	88	10	90	8	92
4	6	18	82	15	85	12	88
5	8	24	76	22	78	16	84
6	10	32	68	30	70	20	80
7	12	40	60	38	62	25	75
8	14	48	52	46	54	30	70
9	16	56	44	54	46	35	65
10	18	64	36	62	38	40	60
11	20	72	28	70	30	45	55
12	22	80	20	78	22	50	50
13	24	88	12	84	16	55	45
14	26	94	6	90	10	60	40
15	28	98	2	94	6	65	35
16	30	100	0	98	2	70	30

Бұл мәліметтер материалдардың жану динамикасын және олардың өртке төзімділік деңгейін салыстырмалы түрде бағалауға мүмкіндік береді. Бастапқы уақытта (0 с) барлық үлгілерде жану байқалмайды (0%), яғни материалдар толықтай жанбайтын күйде (100%) болады. Уақыт өткен сайын барлық үлгілерде жану пайызы біртіндеп артып, жанбау үлесі сәйкесінше азаяды.

1600 dtex үлгіде жану процесі ең жылдам жүреді. 10 секундта жану деңгейі 32%-ға жетсе, 20 секундта 72%-ды құрайды, ал 30 секундта толық жану (100%) байқалады. Бұл көрсеткіштер төмен тығыздықтағы материалдың отқа төзімділігі төмен екенін және жалынның тез таралатынын көрсетеді.

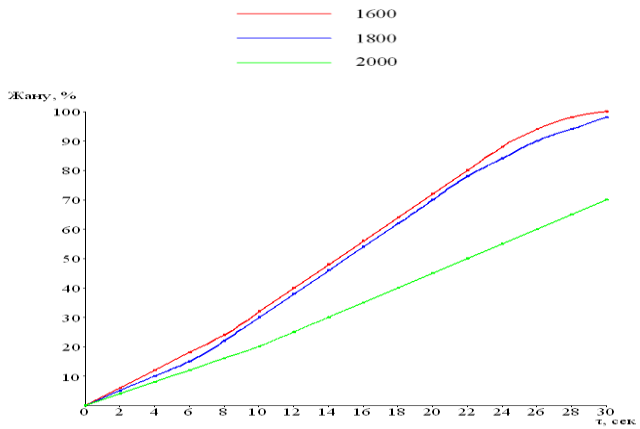
1800 dtex үлгіде жану арқылы сәл баяулау. 10 секундта жану деңгейі 30%, 20 секундта 70% және 30 секундта 98%-ға жетеді. Бұл үлгіде жану процесі 1600 dtex-пен салыстырғанда баяу жүргенімен, соңында толық дерлік жану байқалады. Мұндай нәтиже материал құрылымының біршама тығыз болуына байланысты.

2000 dtex үлгі ең жоғары өртке төзімділікті көрсетті. 10 секундта жану небәрі 20 %, 20 секундта 45 %, ал 30 секундта тек 70% деңгейінде болды. Яғни, осы уақыт аралығында материалдың 30%-ы әлі де жанбай сақталған. Бұл жоғары тығыздықтағы жіптердің жануға қарсы тұрақтылығының жоғары екенін дәлелдейді.

Жалпы заңдылық бойынша жіп тығыздығы артқан сайын:

– Жану жылдамдығы төмендейді;
– Жану пайызы баяу өседі;
– Жанбайтын бөліктің сақталу уақыты ұлғаяды.

Бұл құбылыс материал құрылымының тығыздалуымен түсіндіріледі. Тығыз құрылым оттегінің ішкі қабаттарға енуін шектейді және жылу таралуын баяулатады. Сонымен қатар, антиперендік қоспалар жоғары тығыздықта тиімдірек әсер етіп, қорғаныш қабаттың түзілуіне ықпал етеді. Осылайша, алынған нәтижелер 2000 dtex жіптерінен жасалған кілемдердің өртке төзімділігі жоғары екенін, ал 1600 dtex үлгілердің жануға ең бейім екенін көрсетті. 1800 dtex үлгі аралық сипатқа ие болып, механикалық қасиеттер мен өртке төзімділік арасында белгілі бір тепе-теңдікті қамтамасыз етеді. Кілем жіптерінің уақыт пен жану пайызы 2 суретте көрсетілген.



Сурет 2. Кілем жіптерінің жану динамикасы

Графикте әр түрлі тығыздықтағы (1600,1800 және 2000 dtex) кілем жіптерінің жану пайызының уақыт бойынша өзгеруі көрсетілген. Қисықтар материалдардың жану қарқындылығын және өртке төзімділік деңгейін көрнекті түрде салыстыруға мүмкіндік береді.

Қызыл сызықпен көрсетілген 1600 dtex үлгіде жану процесі ең қарқынды жүретіні байқалады. Уақыттың алғашқы кезеңінен бастап жану пайызы тез өсіп, 10-15 секунд аралығында күрт артады. 30 секундқа қарай бұл үлгі толық дерлік (≈100%) жанып кетеді. Бұл төмен тығыздықтағы құрылымының жалынды тез қабылдап, жылдам таралуына бейімділігін көрсетеді. Көк сызықтағы 1800 dtex үлгіде жану динамикасы 1600 dtex-пен құсас болғанымен, сәл баяу жүреді. Жану пайызы бірқалыпты өсіп, 30 секунд соңында шамамен 98%-ға жетеді. Бұл үлгіде жану қарқындылығы жоғары болғанымен, құрылымының тығыздығы әсерінен жалынның таралу жылдамдығы біршама тежеледі.

Жасыл сызықпен көрсетілген 2000 dtex үлгі ең төмен жану қарқынын көрсетеді. Жану пайызы уақыт бойынша баяу өсіп, 30 секундта тек шамамен 70%-ға жетеді. Бұл үлгінің едәуір бөлігі жанбай сақталғанын көрсетеді. Графикте қисықтың ең жай өсуі жоғары тығыздықтағы материалдың отқа төзімділігінің жоғары екенін дәлелдейді.

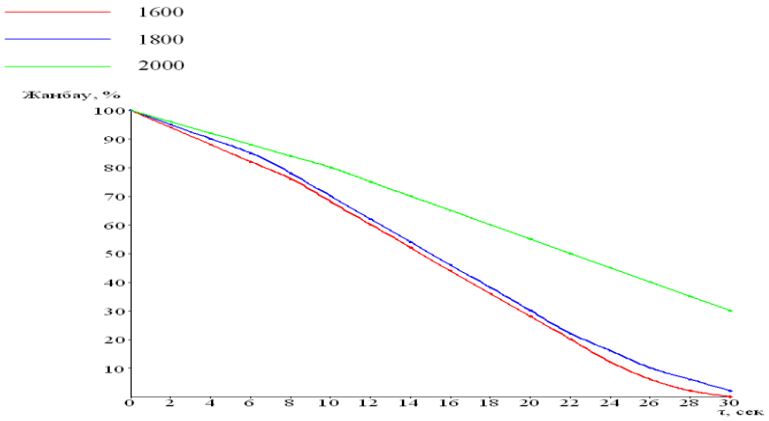
Жалпы алғанда, график нітижелері келесі заңдылықты айқындайды:

– Жіп тығыздығы артқан сайын жану қарқыны төмендейді.
– Жану процесі баяу және тұрақты сипат алады.
– Материалдың жанбай сақталу уақыты ұлғаяды.

Бұл құбылыс тығыз құрылымда оттегінің енуінің шектелуімен және жылу таралуының баяулауымен түсіндіріледі. Сонымен қатар, антиперендік

қоспалардың әсері жоғары тығыздықтағы үлгілерді тиімірек байқалып, жану процесін тежеуге ықпал етеді.

Осылайша, график деректері 2000 dtex үлгінің ең жоғары өртке төзімділікке ие екенін, ал 1600 dtex үлгінің жануға ең бейім екенін нақты дәлелдейді. 1800 dtex үлгі аралық сипат көрсетіп, салыстырмалы түрде теңгерімді қасиеттерге ие. Кілем жіптерінің уақыт пен жанбау пайызы 3 суретте көрсетілген.



Сурет 3. Кілем жіптерінің жанбайтын үлесінің уақыт бойынша өзгеруі

Графикте әртүрлі тығыздықтағы (1600, 1800 және 2000 dtex) кілем жіптерінің жанбайтын бөлігінің уақыт бойынша өзгеруі көрсетілген. Барлық үлгілерде бастапқы сәтте (0 с) жанбау деңгейі 100% құрайды, алайда уақыт өткен сайын бұл көрсеткіш біртіндеп төмендейді. Қызыл сызықпен берілген 1600 dtex үлгіде жанбау пайызы ең жылдам төмендейді. Алғашқы 10 секунд ішінде көрсеткіш айтарлықтай азайып, 20 секундта шамамен 30 %-ға дейін төмендейді, ал 30 секунд соңында толық дерлік жанып, жанбау деңгейі 0-2 % шамасында қалады. Бұл үлгінің жануға өте бейім екенін көрсетеді.

Көк сызықтағы 1800 dtex үлгіде жанбау динамикасы біршама баяу жүреді. 10 секундта жанбау деңгейі шамамен 70% болса, 20 секундта 30% шамасына дейін төмендейді. 30 секундта бұл көрсеткіш 2-5% деңгейінде сақталады. Бұл үлгіде жану процесі 1600 dtex пен салыстырғанда баяуырақ жүретінін байқауға болады.

Жасыл сызықпен көрстетілген 2000 dtex үлгі ең жоғары жанбау тұрақтылығын көрсетті. Уақыт бойынша көрсеткіштің төмендеуі баяу жүреді: 10 секундта шамамен 80%, 20 секундта 55%, ал 30 секундта шамамен 30% деңгейінде сақталады. Бұл материалдың едәуір бөлігі ұзақ уақыт бойы жанбай қалатынын көрсетеді.

Жалпы заңдылық бойынша:

– Жіп тығыздығы артқан сайын жанбайтын бөліктің сақталу уақыты ұлғаяды;

– Жану процесі баяулап, материалдың термиялық тұрақтылығы артады;

– Жоғары тығыздықтағы құрылым оттегінің енуіншектеп, жануды тежейді.

Бұл нәтижелер антиперендік қоспалардың әсерімен де байланысты. Тығыз құрылымда олардың тиімділігі артып, материал бетінде қорғаныш қабат түзіліп, жану процесінің дамуын тежейді. Осылайша, график нәтижелері 2000 dtex үлгінің ең жоғары өртке төзімділік қасиеттеріне ие екенін, ал 1600 dtex үлгінің жануға ең бейім екенін тағы да дәлелдейді. 1800 dtex үлгі аралық деңгейде орналасып, салыстырмалы түрде теңгерімді қасиеттер көрсетеді.

Жүргізілген зерттеу жұмыстары нәтижесінде полипропилен негізіндегі кілем жіптерінің өртке төзімділік қасиеттерін арттырудың тиімді жолдары анықталды. Полипропилен талшықтарының негізгі кемшілігі – олардың жоғары жанғыштығы екені белгілі, сондықтан бұл мәселені шешу мақсатында материал құрамын антиперендік қоспалармен модификациялау қарастырылды. 4-ші суретте кілем жіптерінің жану процесінен кейінгі қалдық құрылымы (1600, dtex), 2000 dtex) көрсетілген.

а – 1600 dtex б – 1800 dtex в – 2000 dtex

Сурет 4. Әртүрлі тығыздықтағы полипропилен жіптерінің жанудан кейінгі сыртқы көрінісі

Қорытынды. Зерттеу барысында көміртек, кремний диоксиді және алюминий оксиді негізіндегі антиперендердің кешенді енгізілуі полипропилен жіптерінің жанғыштығын едәуір төмендететіні дәлелденді. Атап айтқанда, құрамы 92,7% полипропилен, 3% көміртек, 0,3% кремний диоксиді, 1% алюминий оксиді, 1% жұмсартқыш және 2% бояудан тұратын №4 үлгі ең тиімді өртке төзімді материал ретінде анықталды. Бұл құрам жану процесін баяулатып, кей жағдайларда өздігінен сөну құбылысын қамтамасыз етті.

Сонымен қатар жіптің сызықтық тығыздығының өсуі материалдың өртке төзімділігіне оң әсер ететіні анықталды. 2000 dtex тығыздықтағы үлгілер ең жоғары тұрақтылық көрсетіп, жану жылдамдығының төмендеуі мен жанбайтын бөліктің ұзақ сақталуымен ерекшеленді. Ал 1600 dtex үлгілер жануға ең бейім болып шықты.

Өндірістік технологияның негізгі кезеңдері – экструзия, созу, текстурлау және термобекіту процестерінің оңтайлы режимдерін сақтау жіп сапасының тұрақтылығын қамтамасыз ететіні дәлелденді. Температуралық

режимнің дұрыс таңдалуы полимердің біркелкі балқуына және құрылымдық тұтастығына тікелей әсер етеді.

Осылайша, ұсынылған технология полипропилен негізіндегі кілем жіптерінің өртке төзімділігін арттыруға, олардың пайдалану қауіпсіздігін жақсартуға және дайын өнімнің сапасын жоғарылатуға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері кілем өндірісінде бәсекеге қабілетті, қауіпсіз және ұзақ мерзімді өнімдер шығаруға ғылыми негіз бола алады.

Әдебиеттер тізімі

1. Sikhimbayeva M., Erdem R., Kenzhibayeva G., Yeziyeva M., Çoşgun A. Exploring the synergistic impact of carbon, SiO2, and Al2O2 fillers on the properties of melt spun polypropylene filaments // Textile Research Journal. – 2025. – Vol. 1, No. 1. – P. 1–15. DOI: 10.1177/00405175251375385.
2. Гусев А.Б. Технология производства химических волокон [Текст] / А.Б. Гусев. – Москва: Легпромбытиздат, 2019. – 280 с.
3. Horrocks A.R., Price D. Fire Retardant Materials. – Cambridge: Woodhead Publishing, 2017. – 600 p.
4. Bourbigot S., Duquesne S. Fire retardant polymers: recent developments and opportunities // Journal of Materials Chemistry. – 2016. – Vol. 24, No. 12. – P. 401–423.
5. Alongi J., Malucelli G. State of the art and perspectives on flame retardant textiles // Polymer Degradation and Stability. – 2015. – Vol. 119. – P. 62–73.
6. Перепелкин К.Е. Структура и свойства синтетических волокон [Текст] / К.Е. Перепелкин. – Санкт-Петербург: Профессия, 2020. – 352 с.
7. Shen K.K., Kochesfahani S.H. Polypropylene fibers and yarns: production and properties // Textile Research Journal. – 2018. – Vol. 88, No. 4. – P. 415–428.
8. Тоқыма материалдарының қауіпсіздігі және стандарттау [Мәтін] / Под ред. С.Т. Жүсіпова. – Алматы: ҚазҰТЗУ баспасы, 2021. – 210 б.
9. ISO 15025:2016. Protective clothing — Protection against flame — Method of test for limited flame spread.
10. Козлов В.В. Полимерные волокна и нити [Текст] / В.В. Козлов, А.Н. Баранов. – Москва: Химия, 2018. – 320 с.

Материал редакцияға 27.03.26 түсті, 17.06.26 қабылданды.

Г.С. Кенжибаева[1], М.Т. Сихимбаева[1]

[1]Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова Шымкент, Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУСТОЙКОЙ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПРЯЖИ В ПРОИЗВОДСТВЕ КОВРОВОГО ТЕКСТИЛЯ

Аннотация. В данной статье рассматривается технология производства синтетических нитей на основе полипропилена, используемых в ковроткачестве, и способы повышения их огнестойкости. Несмотря на высокие физико-механические свойства полипропиленовых волокон, в частности, износостойкость и прочность, а также экономическую эффективность, одним из их главных недостатков является воспламеняемость. В связи с этим рассматривается модификация состава волокна с помощью огнезащитных добавок и оптимизация технологических параметров. В ходе исследования в расплав полипропилена вводятся антиперены на основе углерода, диоксида кремния и оксида алюминия, в результате чего получаются нити различной плотности. Качество нити определяется отдельно на этапах экструзии, растяжения, текстурирования и термофиксации. По результатам экспериментов определены закономерности изменения времени и температуры горения с

увеличением плотности нити. По результатам исследования наиболее эффективным огнестойким материалом признан образец № 4, содержащий 92,7% полипропилена, 3% углерода, 0,3% SiO_2, 1% Al_2O_3, 1% пластификатора и 2% красителя. Предложенная технология позволяет повысить огнестойкость ковровых нитей и улучшить их безопасность в эксплуатации. Кроме того, предложенный технологический состав и стабильность производственного процесса позволяют повысить качество готовой продукции. Эти результаты послужат основной для производства безопасных, долговечных и конкурентоспособных изделий в ковровой промышленности.

Ключевые слова: технология ковроткачества, модифицированная прядильная нить, антипереновые смеси, огнеупорные волокна.

G.S. Kenzhibayeva[1], M.T. Sikhimbayeva[1]

[1]M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent Kazakhstan

RESEARCH INTO THE TECHNOLOGY OF PRODUCING FIRE-RESISTANT MODIFIED YARN IN THE PRODUCTION OF CARPET TEXTILES

Abstract. This article examines the production technology of polypropylene-based synthetic yarns used in carpet weaving and methods for improving their fire resistance. Despite the excellent physical and mechanical properties of polypropylene fibers, particularly their wear resistance and strength, as well as their cost effectiveness, one of their major drawbacks is flammability. Therefore, modifying the fiber composition with flame retardant additives and optimizing process parameters is discussed. During the study, carbon-, silicon dioxide-, and aluminum oxide-based flame retardants were added to the polypropylene melt, producing threads of varying densities. Thread quality was determined separately at the extrusion, stretching, texturing, and heat-setting stages. Based on the experimental results, patterns in the change in combustion time and temperature with increasing thread density were determined. Sample No. 4, containing 92.7% polypropylene, 3% carbon, 0.3% SiO_2, 1% Al_2O_3, 1% plasticizer, and 2% dye, was found to be the most effective flame-retardant material. The proposed technology improves the fire resistance of carpet threads and enhances their operational safety. Furthermore, the proposed technological composition and stable production process improve the quality of the finished product. These results will serve as the basis for the production of safe, durable, and competitive products in the carpet industry.

Keywords: carpet manufacturing technology, modified spun yarn, flame-retardant additives, fire-resistant fibers.

References

1. Sikhimbayeva M., Erdem R., Kenzhibayeva G., Yeziyeva M., Çoşgun A. Exploring the synergistic impact of carbon, SiO2, and Al2O2 fillers on the properties of melt spun polypropylene filaments // Textile Research Journal. – 2025. – Vol. 1, No. 1. – P. 1–15. DOI: 10.1177/00405175251375385.
2. Gusev A.B. Tekhnologiya proizvodstva khimicheskikh volokon [Technology of chemical fiber production]. – Moscow: Legprombytizdat, 2019. – 280 p. [in Russian].
3. Horrocks A.R., Price D. Fire Retardant Materials. – Cambridge: Woodhead Publishing, 2017. – 600 p.
4. Bourbigot S., Duquesne S. Fire retardant polymers: recent developments and opportunities // Journal of Materials Chemistry. – 2016. – Vol. 24, No. 12. – P. 401–423.
5. Alongi J., Malucelli G. State of the art and perspectives on flame retardant textiles // Polymer Degradation and Stability. – 2015. – Vol. 119. – P. 62–73.

6. Perepelkin K.E. Struktura i svoystva sinteticheskikh volokon [Structure and properties of synthetic fibers]. – St. Petersburg: Professiya, 2020. – 352 p. [in Russian].
7. Shen K.K., Kochesfahani S.H. Polypropylene fibers and yarns: production and properties // Textile Research Journal. – 2018. – Vol. 88, No. 4. – P. 415–428.
8. Toqyma materialdarynyñ qauipsizdigi zhäne standarttau [Safety and standardization of textile materials] / Ed. by S.T. Zhussipova. – Almaty: QazUTZU baspasy, 2021. – 210 p. [in Kazakh].
9. ISO 15025:2016. Protective clothing — Protection against flame — Method of test for limited flame spread.
10. Kozlov V.V., Baranov A.N. Polimernye volokna i niti [Polymer fibers and yarns]. – Moscow: Khimiya, 2018. – 320 p. [in Russian].

FTAMP 64.31.81

E.E. Sarybayeva[1] – *main author*,
F.R. Tashmukhamedov[2], K.T. Makhanbetalieva[3], I.M. Jurinskaya[4], A.A. Absalimov[5], L. Bakirova[6]

[1]PhD, senior lecturer, [2,3,4]PhD, associate professor, [5]Director, [6]PhD student

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0001-7579-5061 [2]https://orcid.org/0000-0002-6538-5947 [3]https://orcid.org/0000-0002-9437-696X [4]https://orcid.org/0000-0002-3607-2001 [5]https://orcid.org/0009-0007-5797-3574*

[1,2,3]M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan
[4]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan
[5]LLP"NURAI-PARTNERS", Taraz, Kazakhstan
[6]Mukhtar Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

@ *[1]elvira-ermek-@mail.ru*

©

https://doi.org/10.55956/BNJG1010

INTEGRATED STRUCTURAL AND CHEMICAL ANALYSIS OF YARN FOR COMPRESSION KNITWEAR FOR THERAPEUTIC PURPOSES

Abstract. This paper presents a comprehensive assessment of the structural, chemical, and physical-mechanical characteristics of yarn intended for the production of therapeutic and prophylactic compression knitwear. Samples of natural, blended and elastomeric yarns of various fibre compositions (cashmere, wool, cotton, acrylic, polyurethane) were studied. Microscopic analysis allowed the morphological features of the fibres to be established and their nature to be confirmed. The FTIR-ATR method provided molecular identification of protein, cellulose and synthetic components. The assessment of the physical and mechanical properties revealed the differentiated behaviour of the yarn under tension and determined its ability to form a stable elastic system in the structure of compression knitwear. It was established that blended systems based on wool and acrylic provide an optimal combination of strength and elasticity, while elastane yarn plays a key role in forming a stable compression effect. The results obtained form a scientifically sound basis for the selection of yarn in the development of medical knitwear.

Keywords: yarn, compression knitwear, structural characteristics, physical and mechanical properties, microscopic analysis, FTIR-ATR, blended fibres, elastane.

Sarybayeva E.E., Tashmukhamedov F.R., Makhanbetalieva K.T., Dzhurinskaya I.M., Absalimov A.A., Bakirova L. Integrated structural and chemical analysis of yarn for compression knitwear for therapeutic purposes // Mechanics and Technologies / Scientific journal. – 2026. – No.2(92). – P.245-254. https://doi.org/10.55956/BNJG1010

Introduction. Compression hosiery for therapeutic and prophylactic purposes belongs to the category of highly functional textile materials that combine the requirements of medical effectiveness, biocompatibility, durability and increased comfort during use.

The key factor determining the degree and stability of therapeutic pressure distribution is the structure of the yarn used, its fibre composition, micromorphology and ability to form a stable elastic system in the knitted fabric [1-3].

The creation of a gradient compression effect is only possible with the use of complex thread systems that include natural fibres (cotton, wool, linen, cashmere), synthetic components (acrylic, polyester) and elastomeric filaments (spandex, elastane). The most widespread are core-spun, covered and plated designs, which provide a combination of strength, hygroscopicity and high elasticity [1,4].

The stability of compression pressure over time is determined not only by the structure of the weave, but also by the elasticity modulus of the original yarn, its ability to recover its shape and its resistance to cyclic deformation [5-7]. It has been shown that the residual deformation of the material after repeated cycles of stretching is a critical parameter for medical devices [5,8].

Optimising the fibre composition allows the balance of mechanical and hygienic properties of knitwear to be controlled. The introduction of wool and angora fibre into the acrylic matrix increases elasticity and reduces the friction coefficient [9], but increasing the proportion of synthetic components can reduce the breathability and comfort of the products [10,11].

Blended systems based on wool and acrylic demonstrate a pronounced synergistic effect: wool improves shape recovery and thermoregulatory properties, while acrylic increases the strength and dimensional stability of the material [9,10]. The elastomeric component, which forms the strength framework of the compression structure, is of particular importance [4,12,13]. Changes in the linear density of spandex and loop formation parameters significantly affect the elasticity and recovery of knitted fabric [12].

Along with mechanical characteristics, the identification of the fibre composition plays an important role. Modern methods of microstructural and spectroscopic analysis, including SEM and FTIR-ATR, allow the nature of the fibres to be reliably determined and the presence of synthetic and protein components to be identified. The combined use of morphological and molecular methods significantly improves the accuracy of interpreting the composition of textile materials [7,14-16].

Despite the significant amount of research devoted to the design of compression garments and the characteristics of knitted fabrics, a comprehensive assessment of the structural, chemical, and physical-mechanical characteristics of the raw yarn as the basic element in the formation of a compression system remains insufficiently represented in the scientific literature [2-4,7].

In this regard, an urgent task is to conduct an integrated study of the micromorphology, chemical composition, and physical and mechanical properties of yarns of various fibre compositions in order to make a scientifically sound choice of material for the production of therapeutic and prophylactic compression knitwear.

Materials and Methods. *Research objects.* The research objects were six samples of yarn with different fibre compositions (Nos. 1–6) intended for use in the production of therapeutic and prophylactic compression knitwear. The samples included natural (cashmere, wool, cotton), blended (wool/acrylic in various proportions) and elastomeric (polyurethane thread – spandex) fibre systems.

The selection of samples was determined by the need for a comparative assessment of the influence of fibre composition and structural features of yarn on its morphological and physicochemical characteristics, which determine the suitability of the material for forming a stable compression effect in the knitted structure.

Sample preparation. Before testing, the yarn was pre-cleaned of surface contaminants using 70% ethanol for 2-3 minutes, followed by drying at room

temperature. This treatment eliminated the influence of foreign impurities on the results of spectroscopic and elemental analysis.

For microscopic studies, individual fibres were separated from the yarn structure by hand in order to minimise mechanical damage. Samples for scanning electron microscopy were prepared by fixing the fibres on aluminium stabs using conductive carbon tape. If necessary, the surface of the samples was coated with a thin layer of gold or platinum 5-15 nm thick to ensure electrical conductivity and improve image quality.

Optical microscopy. Preliminary morphological analysis of the fibres was performed using optical microscopy at magnifications of ×100 and ×500. The study was conducted to assess the cross-sectional shape, the presence of characteristic structural elements (cuticle, lumen, longitudinal grooves), the degree of twist and the uniformity of fibre distribution in the yarn structure.

Optical microscopy allowed for the initial identification of fibres based on morphological characteristics and revealed differences between natural, blended and synthetic components.

Scanning electron microscopy (SEM). Detailed morphological analysis was performed using scanning electron microscopy in accordance with the requirements of GOST ISO 17751-2-2021. The SEM method made it possible to obtain high-resolution images and conduct a more accurate assessment of the micro-relief of the fibre surface, the structure of the wool cuticle, the condition of the longitudinal channels of the cellulose fibres, and the uniformity of the synthetic filaments.

The analysis was carried out to confirm the fibrous nature of the samples and assess their structural integrity, which is of fundamental importance when selecting materials for medical knitwear.

Elemental analysis (EDX). The elemental composition of the fibres was determined using energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX) integrated with electron microscopy. This method allowed for the quantitative determination of the content of the main elements (C,O,N,S) characteristic of cellulose, protein and synthetic fibres.

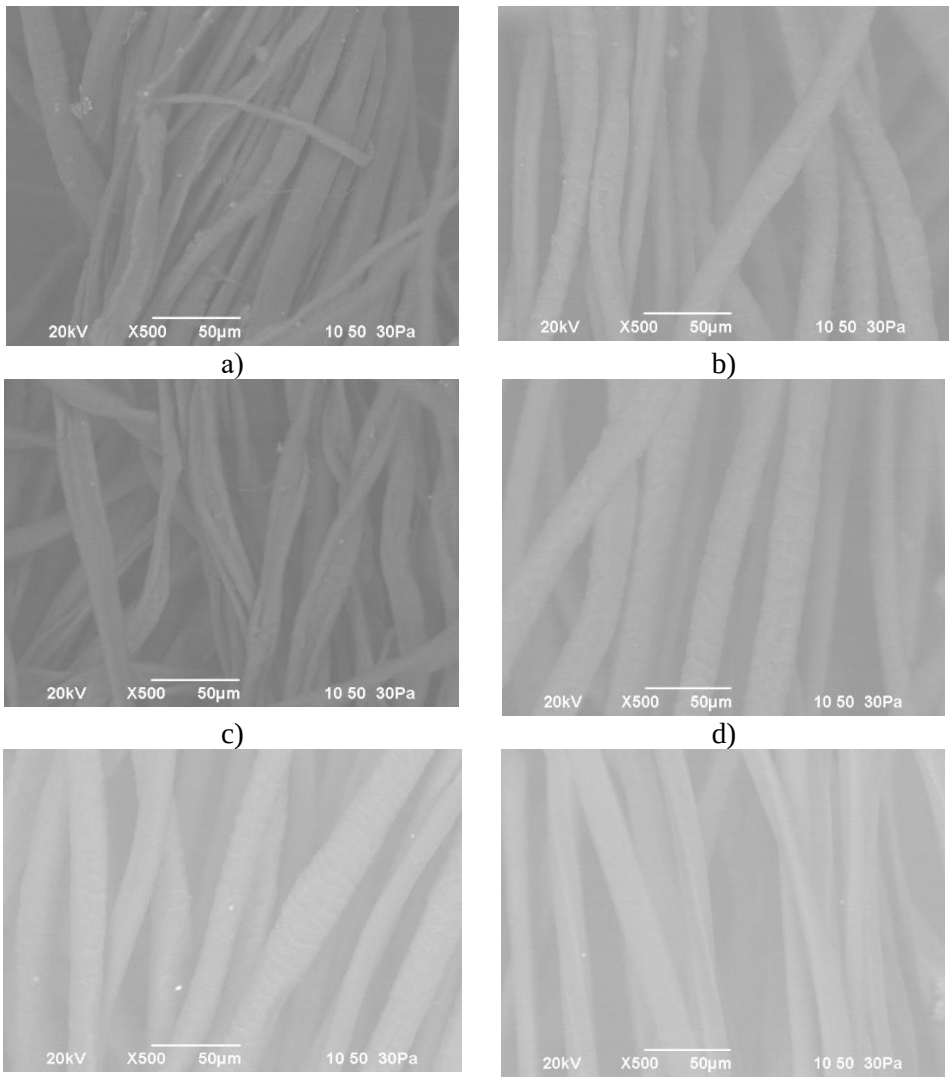
The data obtained was used to compare morphological features with the chemical nature of the material, which ensured comprehensive verification of the composition of the samples under study.

Spectroscopic analysis (FTIR-ATR). Molecular identification of fibres was performed using Fourier transform infrared spectroscopy in attenuated total reflection mode (ATR-FTIR) in the range of 4000–400 cm^{-1} at a resolution of 4 cm^{-1} with 32 scans accumulated.

The spectra were interpreted based on the analysis of diagnostic bands of functional groups, including amide (Amide I, Amide II, Amide III), hydroxyl (O–H), carbonyl (C=O), nitrile (C≡N) and ether (C–O–C) vibrations. Comparison of the obtained spectra with library data confirmed the chemical nature of the fibres under study.

The comprehensive application of morphological, elemental and spectroscopic methods ensured reliable identification of the fibre composition and allowed us to form a scientifically sound basis for assessing the technological suitability of yarn in the production of therapeutic and prophylactic compression knitwear.

Results and Discussion. Morphological examination of yarn samples revealed marked differences in the structure of natural, blended and synthetic fibres, confirming the influence of fibre composition on the mechanical and performance characteristics of the material. Figure 1 shows micrographs of the samples studied.



Optical microscopy, magnification ×500: (a) – sample No. 1; (b) – sample No. 2; (c) – sample No. 3; (d) – sample No. 4; (e) – sample No. 5; (f) – sample No. 6.

Fig. 1. Microscopic image of yarn (samples 1–6)

Analysis of sample No. 1 revealed a combination of thin protein fibres with a characteristic cuticle structure and more pronounced longitudinal elements, indicating a mixed composition. The presence of morphological features of keratin fibres confirms the presence of cashmere, which ensures the softness and plasticity of the material.

Sample No. 2 demonstrated a typical scaly wool structure combined with smooth cylindrical acrylic fibres. The contrast between the surface texture of the natural and synthetic components is clearly visible, confirming the mixed nature of the yarn.

Sample No. 3 is characterised by ribbon-like fibres, spiral twists and a narrow lumen, which corresponds to the morphological characteristics of cotton. These features determine the increased hygroscopicity and stability under static load.

Samples No. 4 and No. 5 demonstrate the predominance of wool component with a uniform fine-scaled cuticle structure characteristic of fine wool (merino), combined with synthetic acrylic fibre. This morphology indicates the possibility of forming a system that is balanced in terms of elasticity and strength.

Sample No. 6 is represented by a homogeneous smooth fibre of cylindrical shape without signs of cuticle and lumen, which corresponds to a polyurethane elastane thread. The pronounced elasticity of the fibre determines its key role in the formation of the compression effect.

Thus, morphological analysis confirmed the correspondence of the structural features to the declared composition of the samples and revealed differences that determine their functional properties.

Spectroscopic analysis (FTIR-ATR). Fourier transform infrared spectroscopy was performed to confirm the chemical nature of the fibres. Figure 2 shows the spectra of the samples studied.

The spectra of samples containing protein fibres (No. 1, No. 2, No. 4, No. 5) are characterised by the presence of pronounced Amide I (≈1630–1650 cm^{-1}) and Amide II (≈1510–1550 cm^{-1}) bands, which is a diagnostic feature of keratin structure. The presence of Amide III bands in the 1230–1270 cm^{-1} region further confirms the protein nature of the fibres.

The spectrum of sample No. 3 lacks amide bands, but there is an intense broad O–H band (≈3300 cm^{-1}) and pronounced C–O–C vibrations in the range 1030–1060 cm^{-1}, which corresponds to the cellulose structure of cotton.

Samples containing acrylic demonstrate the presence of a characteristic nitrile group C≡N band in the ≈2240 cm^{-1} region, which confirms the presence of a polyacrylonitrile component.

The spectrum of sample No. 6 is characterised by a dominant carbonyl group band (≈1710–1730 cm^{-1}) and intense C–O–C vibrations typical of a polyurethane structure. The absence of amide and cellulose bands excludes the presence of natural impurities.

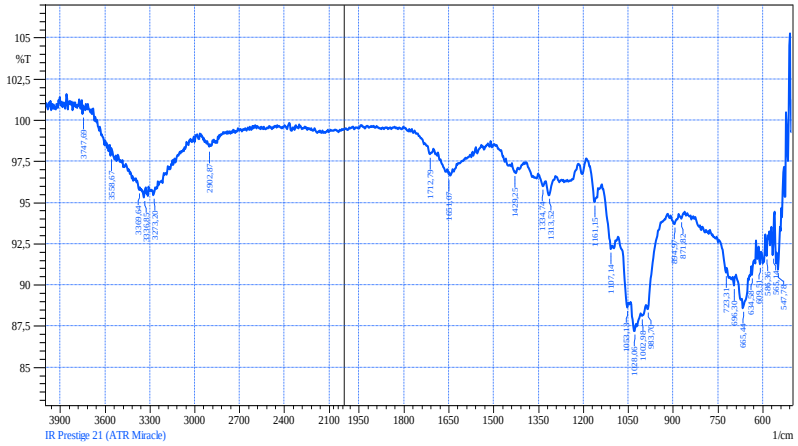
The spectral data obtained are fully consistent with morphological observations and elemental analysis results.

A comprehensive comparison of the results of microscopy, EDX and FTIR analysis confirmed the reliability of the identification of the fibre composition of all samples studied. Morphological features (cuticle, lumen, smooth surface) correlate with characteristic elemental and spectral characteristics.

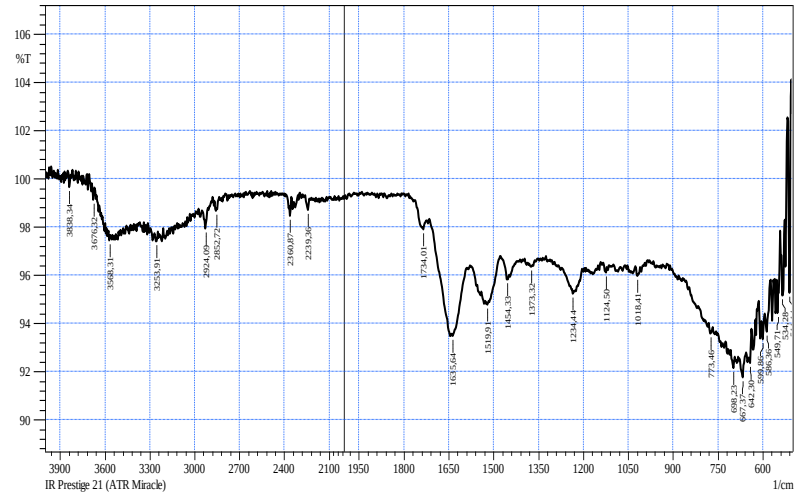
This comprehensive approach increases the accuracy of data interpretation and eliminates the possibility of misidentification of fibres.

The identified structural and chemical characteristics of the yarn are directly relevant to the formation of a stable compression system. Protein fibres provide elasticity and comfort, cellulose fibres provide hygroscopicity and breathability, synthetic components provide strength and resistance to cyclic loads, and elastane thread forms the strength framework of the product.

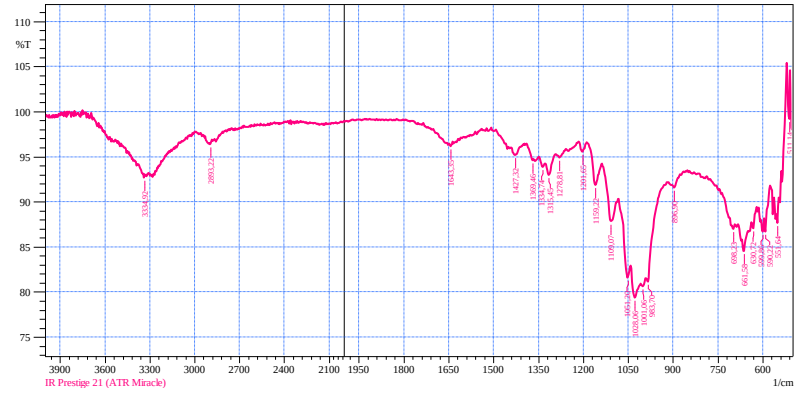
Blended systems based on wool and acrylic have demonstrated the most balanced combination of strength, plasticity and structural stability, making them promising for use in therapeutic and prophylactic compression knitwear.



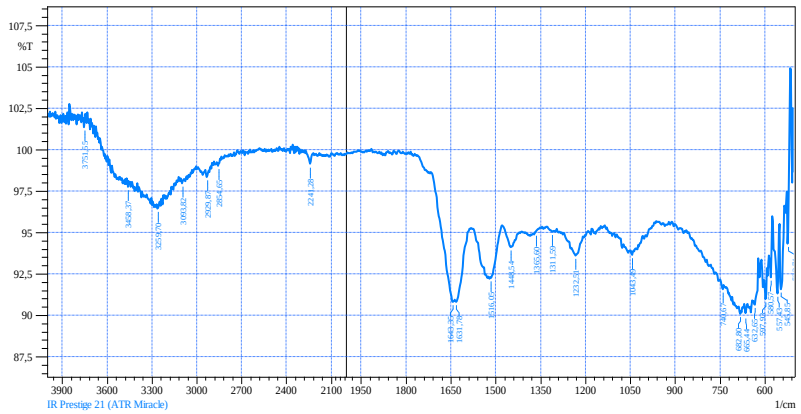
(Sample 1)



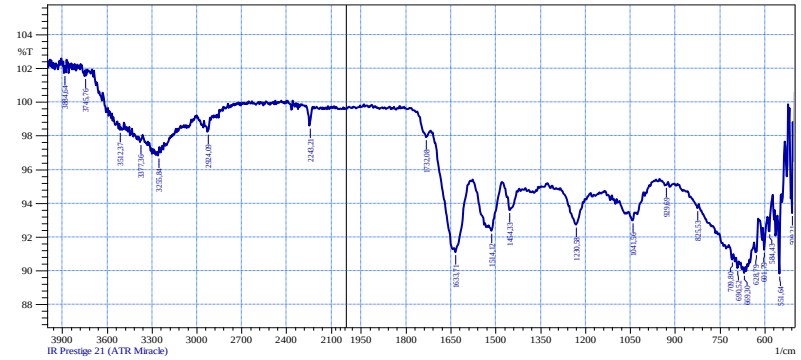
(Sample 2)



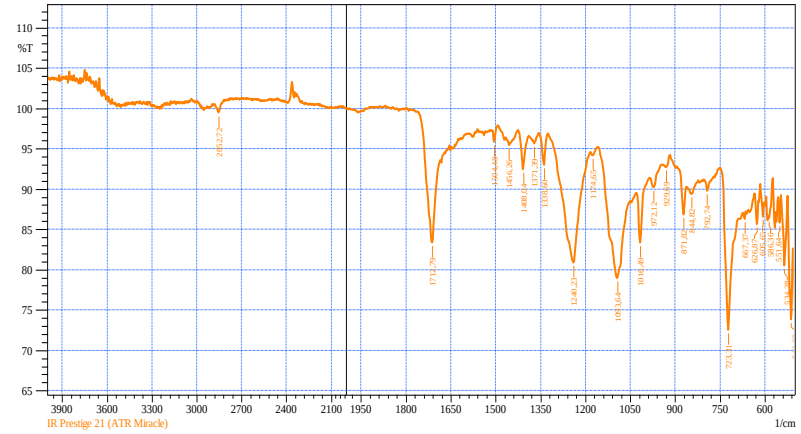
(Sample 3)



(Sample 4)



(Sample 5)



(Sample 6)

Fig. 2. FTIR spectra of yarn samples No. 1–6

Conclusion. As a result of a comprehensive study, it was established that the structural, morphological and chemical characteristics of the yarn samples under investigation directly determine their technological suitability for the production of therapeutic and prophylactic compression knitwear.

Microscopic analysis revealed distinct morphological differences between natural, blended and synthetic fibres, including the presence of a scaly cuticle in protein fibres, a ribbon-like structure and lumen in cellulose components, and a uniform cylindrical shape in synthetic and elastomeric yarns. Scanning electron

microscopy made it possible to clarify the micro-relief of the surface and confirm the structural integrity of the fibres.

Spectroscopic analysis using the FTIR-ATR method provided reliable molecular identification of the composition of the samples based on the characteristic diagnostic bands of amide, hydroxyl, carbonyl and nitrile groups. The spectroscopy results are fully consistent with the morphological and elemental analysis data, confirming the correct identification of the fibrous nature of the studied systems.

It has been established that blended systems based on wool and acrylic are characterised by an optimal combination of strength and elasticity properties, providing a balance between comfort and operational stability. Elastane polyurethane thread forms the strength component of the structure, ensuring the stability of the compression effect under cyclic loads.

Thus, a comprehensive assessment of the structural and physicochemical characteristics of the yarn made it possible to scientifically justify the choice of fibre systems for the development of therapeutic and prophylactic compression knitwear. The results obtained can serve as a basis for the further design of knitwear with specified parameters of compression and operational stability.

References

1. Maqsood M., et al. Comparison of the compression properties of stretchable knitted fabrics and bi-stretch woven fabrics for compression garments // The Journal of The Textile Institute. – 2017. – Vol. 108, No. 4. – P. 522–527.
2. Troynikov O., et al. Factors influencing the effectiveness of compression garments used in sport // Procedia Engineering. – 2010. – Vol. 2, No. 2. – P. 2823–2829.
3. Eberhardt B., Meissner M., Strasser W. Knit fabrics // Cloth Modelling and Animation. – AK Peters/CRC Press, 2000. – P. 123–144.
4. Dias T., et al. Modelling the interface pressure applied by knitted structures designed for medical-textile applications // Journal of the Textile Institute. – 2003. – Vol. 94, No. 3–4. – P. 77–86.
5. Amirifard M., Asayesh A. The effect of elastic yarn tension and alignment on the tensile and compressive properties of weft-knitted spacer fabrics for cushioning applications // The Journal of The Textile Institute. – 2023. – Vol. 114, No. 10. – P. 1476–1487.
6. Meyer N. J. A. Advanced Program.
7. Hu J. Structure and Mechanics of Woven Fabrics. – CRC Press, 2004. – Vol. 35.
8. Pazireh E., Gharehaghaji A. A., Haghighat E. Study on the comfort of knitted elastic fabrics based on compressive deformation behaviour // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. – 2014. – Vol. 9, No. 4. – P. 155892501400900410Hossain E., et al. From Material to Manufacture: A State-of-the-Art Review of Compression Garment Technologies for Medical and Sports Use // Textiles. – 2026. – Vol. 6, No. 1. – P. 7.
9. Shi Y., et al. Biomedical therapeutic compression textiles: Analysis of physical and mechanical properties for precise pressure management // Journal of the Mechanical Behaviour of Biomedical Materials. – 2024. – Vol. 151. – Art. 106392.
10. Idris M. K. M., et al. The Effect of Fibre Compositions and Fabric Constructions on the Elastic Properties of Compression Fabrics // Journal of Fibre Bioengineering and Informatics. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – P. 13–24.
11. Gokarneshan N. Design of compression garments for a range of medical applications // Biomedical Journal of Scientific & Technical. – 2017. – Vol. 1, No. 3. – P. 1–8.
12. Li N. W., Kwan M. Y., Yick K. L. Pressure and Thermal Behaviour of Elastic Polyurethane and Polyamide Knitted Fabrics for Compression Textiles // Polymers. – 2025. – Vol. 17, No. 7. – P. 831.
13. Hirai M., Iwata H., Hayakawa N. Effect of elastic compression stockings in patients with varicose veins and healthy controls as measured by strain gauge

plethysmography // Skin Research and Technology. – 2002. – Vol. 8, No. 4. – P. 236–239.
14. Das A., Alagirusamy R. Science in clothing comfort. – New Delhi: Woodhead Publishing India Pvt Limited, 2010. – P. 31–53.
15. Liu S., Zhou J. Analysis of the dynamic properties of elastic knitted fabric for sportswear: inverse stress relaxation // Textile Research Journal. – 2019. – Vol. 89, No. 9. – P. 1673–1683
16. Hossain E., et al. From Material to Manufacture: A State-of-the-Art Review of Compression Garment Technologies for Medical and Sports Use // Textiles. – 2026. – Vol. 6, No. 1. – P. 7.

This research is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP26198371).

Received: 02 April 2026
Accepted: 29 April 2026

Э.Е. Сарыбаева[1], Ф.Р. Ташмухамедов[1], К.Т. Маханбеталиева[1], И.М. Джуринская[2], А.А. Абсалимов[3], Л.Ш. Бакирова[4]

[1]М.Х. Дулати атындағы Тараз Университеті, Тараз, Қазақстан
[2]Алматы Технологиялық Университеті, Алматы, Қазақстан
[3]LLP «НҰРАЙ-СЕРІКТЕСТЕР», Тараз, Қазақстан
[4]М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан Университеті, Шымкент, Қазақстан

ЕМДІК ПРОФИЛАКТИКАЛЫҚ КОМПРЕССИОНДЫ ТРИКОТАЖҒА АРНАЛҒАН ИІРІМЖІПТІҢ КЕШЕНДІ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ЖӘНЕ ХИМИЯЛЫҚ ТАЛДАУЫ

Аңдатпа. Бұл мақалада терапиялық және профилактикалық компрессиялық шұлық өндірісіне арналған жіптің құрылымдық, химиялық және физика-механикалық сипаттамаларының кешенді зерттеу келтірілген. Әртүрлі талшық құрамының (кашемир, жүн, мақта, акрил және полиуретан) табиғи, аралас және эластомерлі жіптерінің үлгілері талданды. Микроскопиялық талдау бізге талшықтардың морфологиялық қасиеттерін анықтауға және олардың табиғатын растауға мүмкіндік берді. FTIR-ATR әдісі ақуыздың, целлюлозаның және синтетикалық компоненттердің молекулалық идентификациясын қамтамасыз етеді. Физика-механикалық қасиеттерді бағалау жіптің керілу кезіндегі дифференциалданған сипатын анықтады және оның компрессиялық шұлық құрылымында тұрақты серпімді жүйені қалыптастыру қабілетін анықтады. Жүн мен акрилге негізделген аралас жүйелер беріктік пен серпімділіктің оңтайлы үйлесімін қамтамасыз ететіні, ал эластан жіп тұрақты компрессиялық әсерге қол жеткізуде маңызды рөл атқаратыны анықталды. Алынған нәтижелер медициналық шұлық өндірісін дамытуда жіптерді таңдау үшін ғылыми негіз болып табылады.

Тірек сөздер: иірімжіп, компрессионды трикотаж, құрылымдық сипаттамалары, физикалық және механикалық қасиеттері, микроскопиялық талдау, FTIR-ATR, аралас талшықтар, эластан.

Э.Е. Сарыбаева[1], Ф.Р. Ташмухамедов[1], К.Т. Маханбеталиева[1], И.М. Джуринская[2], А.А. Абсалимов[3], Л.Ш. Бакирова[4]

[1]Таразский университет им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан
[2]Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан
[3]LLP «НУРАЙ-ПАРТНЕРЫ», Тараз, Казахстан
[4]Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

КОМПЛЕКСНЫЙ СТРУКТУРНЫЙ И ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРЯЖИ ДЛЯ КОМПРЕССИОННОГО ТРИКОТАЖА ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Аннотация. В данной статье представлена комплексная оценка структурных, химических и физико-механических характеристик пряжи, предназначенной для производства лечебно-профилактического компрессионного трикотажа. Были исследованы образцы натуральной, смесовой и эластомерной пряжи различного волокнистого состава (кашемир, шерсть, хлопок, акрил, полиуретан). Микроскопический анализ позволил установить морфологические особенности волокон и подтвердить их природу. Метод FTIR-ATR обеспечил молекулярную идентификацию белковых, целлюлозных и синтетических компонентов. Оценка физико-механических свойств выявила дифференцированное поведение пряжи при растяжении и определила ее способность формировать стабильную упругую систему в структуре компрессионного трикотажа. Установлено, что смешанные системы на основе шерсти и акрила обеспечивают оптимальное сочетание прочности и эластичности, тогда как эластановая нить играет ключевую роль в формировании стабильного компрессионного эффекта. Полученные результаты составляют научно обоснованную основу для выбора нитей при разработке медицинского трикотажа.

Ключевые слова: пряжа, компрессионный трикотаж, структурные характеристики, физико-механические свойства, микроскопический анализ, FTIR-ATR, смешанные волокна, эластан.

ҒТАМР 64.33.01

У.С.Келесова[1] – *негізгі автор*,
А.К. Жаппарова[2], **И.С. Джиембетова**[3]

[1]*Экон. ғылым. канд.*, [2,3]*PhD, доцент*

ORCID [1]*https://orcid.org/0000-0002-6518-7836* [2]*https://orcid.org/0000-0002-2452-017X*
[3]*https://orcid.org/0009-0000-0485-9152*

[1,2,3]*М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті,*
Тараз, Қазақстан,

@ [1]*us.kelesova@dulaty.kz*

https://doi.org/10.55956/OCMW1605

СӘН ИНДУСТРИЯ ӨНІМДЕРІНДЕ ЭТНИКАЛЫҚ СТИЛЬДЕГІ АКСЕССУАРЛАР ДИЗАЙНЫНЫҢ КОМПОЗИЦИЯЛЫҚ ҚҰРЫЛЫМЫН ТАЛДАУ

Аңдатпа. Мақалада сән индустриясы өнімдеріндегі этникалық стильдегі аксессуарлар дизайнының композициялық құрылымы жан-жақты талданады. Зерттеу барысында этникалық аксессуарлардың пішіні, көлемдік-пропорциялық арақатынасы, симметрия мен асимметрия, ритм, фактура және түстік шешімдерінің композициялық заңдылықтары қарастырылады. Зерттеу-ізденіс жұмыстың мақсаттары этникалық стильдегі костюм аксессуарларының заманауи сән индустриядағы дәстүрлі өнердің шығу тегіне шығармашылық көзқарасты синтездеуге, жасалған аксессуарлар дизайнының шешімдерін материалда жасауға мүмкіндік берді. Жұмыстың теориялық және тәжірибелік нәтижелері сән индустрия мамандары үшін болашақ шығармашылық бастамалар қорына айналады.

Тірек сөздер: сән индустрия, костюм, ою-өрнек, таңба, рухани-материалдық мәдениет, жоба, дизайн, өнер, бұйым.

Келесова, У.С. Сән индустрия өнімдерінде этникалық стильдегі аксессуарлар дизайнының композициялық құрылымын талдау [Мәтін] / У.С. Келесова, А.К. Жаппарова, И.С. Джиембетова // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №2(92). – Б.255-262. https://doi.org/10.55956/OCMW1605

Кіріспе. Бүгінгі таңда отандық сән индустрияда ерекше, жарқын және әсерлі стильдердің бірі – этникалық стиль, ол әртүрлі киімдер мен үрдістердің ауқымында басқа қолданыстағы стильдермен салыстырғанда дизайнерлер үшін өте кең және көп қырлы болып табылады. Этникалық стиль қазіргі заманғы әлемдік сәнде үлкен маңызға ие және ықпал етеді. Оның танымалдылығы тек оның тартымды келбетінен ғана емес, сонымен қатар адамзат тарихи рухани-материалдық мәдениеті мен дәстүрлерінің шексіз байлығы мен әртүрлілігін бейнелеу қабілетінен де туындайды. Қанша ұлт болса, сонша алуан үрдістері бар деп айтуға болады [1].

Этникалық стильдің байлығы ұлттық костюмнің ерекшеліктерін, әртүрлі материалдарды, декор-қолданбалы өнерін, аксессуарларды, аяқ-бас киімдерді және тіпті материалдық емес ұлттық мәдени мұраны қамтиды. Этникалық стиль өздігінен мәңгілік және әрқашан өзекті, заманауи қысқа мерзімді

үрдістер мен құбылыстармен үйлесімді құрастырылады. Этникалық стильдің танымалдылығының артуына байланысты тұтынушылар киім индустрияда әртүрлі мәдениеттер мен дәстүрлерді біріктіретін инновациялық және ерекше бейнелерді іздейді.

Кең сауда желісі бар Жібек жолы Қытай, Парсы, Еуропа, Үнді субконтиненті, Арабия және Африка мүйізі өркениеттерінің дамуында маңызды факторға айналды, өркениеттер арасында тек саяси ғана емес, сонымен қатар экономикалық байланыстарды да ашты [2].

Ұлы Жібек жолы бойында қалыптасқан кең мәдени алмасудың арқасында заманауи дизайнерлер әртүрлі халықтардың стильдерімен, техникаларымен, материалдарымен, түстерімен шығармашылық ізденіс-тәжірибе жасауға, жаңа қайта ойлау мен көзқарас қалыптастыруға шексіз мүмкіндіктерге ие. Орталықазиялық өнер формалардың байлығы, нәзік үйлесімі, айқындылығын, ою-өрнектің сакралдық мәні, бұйымдарды жасаудың жоғары деңгейі және түстерді үйлестіру шеберлігімен ерекшеленеді. Қазақстан, Өзбекстан, Қырғыстан және басқа да халықтардың материалдық мәдениеті ежелгі заманнан бері негізінен кілем тоқу, әртүрлі өрнектерді дайындау мен кестелеу, киізден жасалған кілемдер, өрнектелген киізден тұрмыстық бұйымдар әзірлеу, өрнек тоқу, киім тігу, былғарыны бедерлеу, ағаш ою және металды көркем өңдеу (зергерлік әшекейлер) арқылы көрініс тапқан.

Осылайша, ұсынылған зерттеу жұмысы «Ұлы Жібек жолы» ұранымен аксессуарлар авторлық дизайнындағы стильдеу көзі ретіндегі сәндік-қолданбалы өнер нысандарын талдау өзекті, себебі ол дизайн нысандарын көркемдік жобалау процесі мен тарихи аспектілерді шығармашылық көз ретінде синтездеу арқылы дәстүрлі мәдениетті сақтауға бағытталған.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Қазіргі уақытта этникалық киімдер мен аксессуарларға сұраныс тек Қазақстанда ғана емес, сонымен қатар Қытай, Үндістан және Таяу Шығыс сияқты басқа да дамушы нарықтарда артып келеді. Этникалық киімдер мен аксессуарларға сұраныстың өсуі жалғасады деп болжануда, бұл жергілікті дизайнерлер мен бөлшек саудагерлерге әлемдік нарықтағы өз орнын кеңейту үшін көптеген жаңа мүмкіндіктер ашады.

Бұл ғылыми ізденіс-шығармашылық жұмыстың мақсаты – Азия мен Таяу Шығысты мекендеген халықтар мәдениетінің өзара байланысымен ерекшеленетін Ұлы Жібек жолының тарихи кезеңінің рухани-материалдық мәдени ерекшеліктері мен сәндік-қолданбалы өнерін зерттеу негізінде этникалық стильдегі аксессуарлардың дизайнының жаңа тұжырымдамасын әзірлеу болып табылады.

Ғылыми зерттеудің нысаны – этникалық стильдегі сәндік-қолданбалы өнер заттары мен аксессуарлары болып табылады. Зерттеу саласы – этникалық сән индустрия және тарихи шығармашылық бастамалар аясындағы аксессуар дизайнының көркемдік және композициялық ерекшеліктері.

Зерттеу әдістеріне жүйелі көзқарас, тақырыптық ақпаратты синтездеу және талдау, шығармашылық іздеу әдістері (эврикалық), аналогия, стильдеу және трансформация әдістері кіреді.

Ізденіс-шығармашылық зерттеудің жаңалығы ерекше дизайн шешімі аясында Жібек жолы кезеңінің мәдениеті мен сәндік-қолданбалы өнерін зерттеу негізінде этнографиялық стильдегі заманауи аксессуарлар жиыниығын әзірлеу ұсынылады.

Сонымен қатар, жүйелік-құрылымдық әдіс аксессуар дизайнын тұтас көркем жүйе ретінде қарастыруға, ал стилистикалық талдау этникалық

стильдің көркемдік белгілерін, символдық мағынасын және декоративтік элементтердің мазмұнын айқындауға бағытталды.

Зерттеу нәтижелері. Зерттеу жұмысын жүзеге асыру нәтижесінде тарихи тұрғыда Ұлы Жібек жолы кезеңінің мәдениеті мен өнерінің ерекшеліктері зерттелді, Ұлы Жібек жолының өнері тұрғындардың діни шығу тегіне байланысты болғаны анықталды, ислам және буддизм сияқты діндер мәдени алмасудың қалыптасуында және өнердің дамуында маңызды рөл атқарып, мұның бәрі қолданбалы өнерінің заттарына, көркемдік шешімдеріне ерекше әсер етті.

Сондай-ақ, Орталық Азия мен Таяу Шығыс халықтарының өнері күнделікті тұрмыстық өмірімен тығыз байланыс контекстінде сәндік-қолданбалы өнеріне жалпы талдау жүргізілді. Ежелгі көзқарастардың, дүниетанымдардың және сенімдердің барлығы сәндік-қолданбалы өнерде әртүрлі өрнектер мен әшекейлер түрінде көрініс тапқаны анықталды. Бұрын айтылғандай, Жібек жолы тек жібекті ғана емес, сонымен қатар әртүрлі көркемдік мотивтерді, стильдерді, техникаларды, нанымдарды, діндерді, идеяларды және технологияларды да тасымалдады. Зерттеу сатыларында Орталық Азия мен Таяу Шығыс аумағындағы сәндік-қолданбалы өнер зарттарының және аксессуарлардың әшекейлерінің көркемдік және композициялық шешімдері талданады.

Сонымен, монгол тайпалары мен парсылар белсенді түрде таратқан, көбінесе декорлы әшекейлер түрінде (аң стилі, өсімдік және гүлді өрнектер, каллиграфия және т.б.) Орта Азия өрнектері стилизациялау негізінде тоқыма бұйымдарын безендіруде және ыдыс-аяқта қолданылды. Бұл дәуірдегі әрбір зат өз алдына қызықты өнер туындысы, бірақ тұтастай алғанда қараған кезде ол мәдени өзара әрекеттесу, білім алмасу және ықпал туралы әңгімелей бастайды. Ұлы Жібек жолы сөзсіз әлем тарихына орасан зор әсер етті, оны мүлдем жаңа жүйеге айналдырды. Мұның бәрі, бірге алғанда, тарихтың көп бөлігінде әлемнің осі Жібек жолының айналасында айналғанын көрсетеді. Әрбір елдің тарихы оқшау дамымаған және белгілі бір дәрежеде Жібек жолына әсер етіп, онымен байланысты болған.

Орталық Азия мен Таяу Шығыстың әртүрлі этникалық мәдениеттерінің негізгі сәндік элементтері мен аксессуарларын зерттеу барысында Жібек жолы дәуірінде әр мәдениеттің дизайн, мотивтер және негізгі мағыналар бойынша ортақ ерекшеліктері болғаны анықталды, бұл дін, өнер, білім және т.б. қатысты кең мәдени алмасуларға байланысты болды. Мысал ретінде әртүрлі боялған керамика, сәулет құрылымдары, кілем тоқу және сол кезде кеңінен қолданылған «дорба» және «қалта» сияқты сөмкелерді келтіруге болады. Бұл сөмке түрлерінің танымалдылығы олардың ыңғайлылығы арқылы тауарларды ұзақ қашықтыққа оңай тасымалдауға мүмкіндік берді [3].

Сөмкелер пішіні маңызды рөл атқарады, себебі шаршы және тікбұрышты пішіндер тұрмыстық жағдайда тиімді пайдалануда тиімді болады. Сөмке пішінінен басқа, олардың сәндік әрлеуі де маңызды. Сөмкелер әртүрлі тәсілдермен безендірілген: әртүрлі маталардың үйлесімі, алтын жіппен кестелеу, өру, моншақпен безендіру, шашақпен безендіру, зергерлік бұйымдар, асыл тастармен безендіру.

Ерекшеліктердің дамуына алғашқы мәдени тамырлар (Ұлы Жібек жолының таралуына дейін), ежелгі заманнан бері ұрпақтан-ұрпаққа беріліп келе жатқан мәдениет пен білім үлкен әсер етті. Мысалы, қазақ даласында сақ дәуірі (б.з.д. 8-3 ғасырлар) және ғұн дәуірі (б.з.д. 4 ғасыр – б.з. 3 ғасыр) этникалық стильдің негізгі сипаттамаларының қалыптасуында өте маңызды

рөл атқарады. Зооморфтық және космогониялық ою-өрнектер ежелгі көшпелі халықтың күнделікті өмірі мен сенімдерін көрсетті және олар бүгінгі күнге дейін өзекті болып қала береді [4].

Ежелгі көшпелі қазақтардың зергерлік бұйымдарына келетін болсақ, олардың көркемдік композициясы каскадты, бейнеленген негізгі элементтермен, әртүрлі геометриялық пішіндердің үйлесімімен және қатаң тік сызықтармен сипатталады. Күміс басым материал болды, бірақ алтын бұйымдар да таралған. Бұл бұйымдарды жасауда түйіршіктеу, гравюра, балқып қую және т.б. сияқты технологиялар мен әдістер қолданылды.

Ең көп таралған пішіндерге үшбұрыштар, шаршылар, ромбтар, тіктөртбұрыштар, жебелер, шеңберлер, жарты айлар және т.б. жатады.

Зерттеу барысында бұйымдардың көркемдік тұжырымдамасын негіздеу үшін бастапқы талданған ақпараттар негізінде стильдік белгілер мен символдар жүйесі жасалды, жобалау нысаны үшін негізгі идеяны ең жақсы көрсететін негізгі пішіндер анықталды.

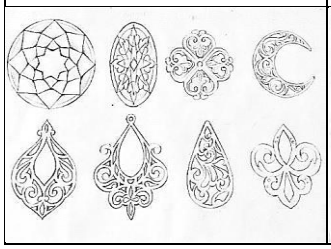
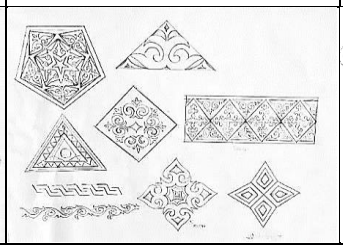
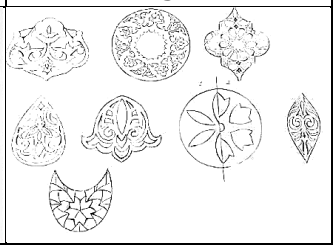
Өзбек зергерлік бұйымдары ажур филинграмь, құйма, чернь, эмаль, алтын жалату сияқты техникаларды қолданумен сипатталады. Зергерлік бұйымдардың көпшілігі күмістен жасалған, бірақ алтын да қолданылған және көбінесе сердолик, маржан, інжу-маржан, моншақтар және т.б. безендірілген. Ежелгі өзбек зергерлік бұйымдары аздап сарқырамамен, қосымша элементтердің үлкен бейнелермен сипатталады, бірақ ерекшелігі – қолданылған пішіндердің дөңгелектенуі, жылтыратылған бұрыштары. Ең көп таралған формалар: шеңбер, сопақша, тіктөртбұрыш, тамшы, жапырақ, жарты ай, гүл, жұлдыз және басқа да күрделірек біріктірілген түрлері. Қысқасы, зергерлік бұйымдар пішіндерінің күрделілігімен, ойылған және тегістелген бұрыштарымен ерекшеленеді [5].

Ежелгі шығыс зергерлік бұйымдары негізгі пішіндері өзбек зергерлік бұйымдарына көп жағынан ұқсас: шеңбер, сопақша, жарты ай, тамшы, жапырақ, гүл, жүрек бейнелер таралған, негізгі материал алтын болған. Аксессуарларды көгілдір, сердолик, лазурит және т.б. безендіруге болатын еді. Түйіршіктеу, қайта өрнектеу және ажур филинграмь сияқты әдістер қолданылды. Ерекшелігі – негізгі элементтердің де, қосымша бөлшектердің де өте егжей-тегжейлі сипаты [6].

Жобаланатың бұйымдардың көркемдік тұжырымдамасын негіздеу үшін стильдік белгілер мен символдар жүйесі жасалды, негізгі идеяны ең жақсы көрсететін 1-кестеде көрсетілген негізгі мағыналық белгілер анықталды, олар арнайы 3 блок түрінде ұсынылады.

Кесте 1

Ұлы жібек жолы дәуірдегі ою-орнектердің таңбалары

1 блок – Таяу Шығыс	2 блок – Орталық Азия	3 блок – Орталық Азия
1	2	3
		

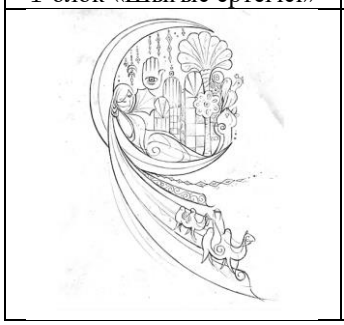
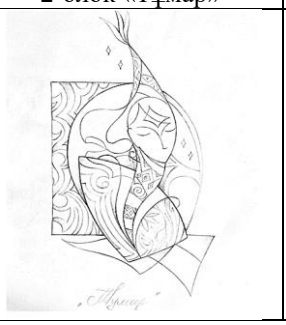
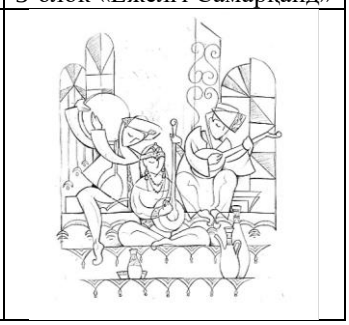
Жоғарыда айтылғандардың барлығы зергерлік бұйымдардың (сырғалар, алқалар) және аксессуарлардың (сөмкелер, белдіктер) негізгі пішіндерін, элементтерін және бөлшектерін анықтауға мүмкіндік берді. Қазақ аксессуарлары үшін негізінен үшбұрышты, ромб тәрізді және тікбұрышты пішіндер негізгі элементтер ретінде таңдалды, оларға кішкентай дөңгелек элементтер қосылды. Өзбек стиліндегі аксессуарлар үшін дөңгелектелген, сопақша элементтер таңдалды: көз жасы тамшылары, жарты ай, жұмсартылған жиектері бар үшбұрыштар және т.б. Шығыс зергерлік бұйымдары үшін дөңгелектелген, сопақша пішіндер де таңдалды: көз жасы тамшыларды, жарты ай, жапырақтар және т.б. Шығыс және өзбек зергерлік бұйымдарының көптеген ұқсастықтары бар, бірақ қосымша және негізгі элементтердің үйлесім жиілігімен және элементтердің көрнекі бейнелермен ерекшеленеді.

Қазақ блогында негізінен геометриялық өрнектер болады, оларға өсімдік және зооморфтық мотивтер аздап қосылады. Бұл жағдайда геометриялық өрнектер тәртіпті, тепе-теңдікті білдіреді, ал зооморфтық және өсімдік элементтерінің қосылуы динамизм мен табиғатпен байланыстың әсерін қосады. Осы мотивтердің барлығы бірге құндылықтарды, нанымдарды және этникалық мұраны көрсететін символдардың бай палитрасын жасайды.

Зерттеу нәтижелерін талқылау. Таңдалған шығармашылық бастамасына сүйене отырып, жобаның дизайн тұжырымдамасы құрастырылды, нәтижесінде көркем бейне орындалды, 2 кестеде ұсынылады.

Кесте 2

Жобаның көркем бейнелері

1-блок «Шығыс ертегісі»	2-блок «Тұмар»	3-блок «Ежелгі Самарқанд»
		

1-ші блок: «Шығыс ертегісі». Көркем бейнесінде бай безендірілген сарайлар, қарбалас базарлар және ерекше ландшафттар айқын құрама элементтерімен жанданатын жұмбақ және экзотикалық Шығыс елдерінің сүйкімділігі бейнеленген. Негізгі түстер алдын элементтермен үйлескен қызғылт реңктер болды.

2-ші блок: «Тұмар». Тұмар – иесінің әл-ауқатын қамтамасыз ететін тұмар зергерлік бұйымдарының ежелгі түрі. Исламның келуімен ол араб жазуындағы Қораннан алынған дұғалармен толықтырыла бастады. Ұлы Жібек жолының арқасында тұмар сенімдердің бірігуінің символына айналды: исламды қабылдау арқылы Орталық Азия халықтары ежелгі көшпелі халықтардың мәдениеті мен әдет-ғұрыптарын сақтап қалды. Осылайша, таңдалған қызыл және алтын түстес асыл реңктер бейнені толықтырады, бұл тек материалдық әл-ауқат пен әл-ауқатты ғана емес, сонымен қатар Ұлы Жібек жолының жолдарымен белсенді түрде алмасқан мәдени және интеллектуалдық байлықты да білдіреді.

3-ші блок: «Ежелгі Самарканд». Бай тарихы бар ежелгі қала, Ұлы Жібек жолы бойындағы Орталық Азиядағы ең ірі мегаполистердің бірі, ол әртүрлі өркениеттердің мәдени тоғысын бейнелейді. Бейнеде қызғылт және алтын түстердің үйлесімі қолданылған, бұл оған тек романтика мен ашықтықты ғана емес, сонымен қатар қонақжайлылықтың жылуы мен бірлік рухын да бейнелейді.

Ұлы Жібек жолы және оның тарихи бағыттары бойынша жүргізілген кең ауқымды мәдени алмасу шығармашылық шабыт ретінде таңдалды. Бұл сауда желісі көптеген өркениеттер арасында материалдық және рухани қазыналарды бөлісуге ықпал етіп, кең мәдени өзара әрекеттесудің арнасына айналды. Ұлы Жібек жолы бойындағы алмасу әртүрлі көркем стильдердің, ою-мотивтердің және этникалық дәстүрлердің бірігуіне себеп болды, нәтижесінде аймақтар мен дәуірлерді біріктіретін бай-күнсыз мәдени мұра қоры құрылды. Зерттеу барысында бұйымдардың қалыптасқан көркем-жобалық шешімі Ұлы Жібек жолы мәдениетін мұрасын дәріптейді.

Сурет 1. Этнографиялық стильдегі заманауи аксессуарлар жиынтығы

Тәжірибелік бөлімде жүргізілген эскиздік және техникалық жобалау нәтижелері этникалық стиль элементтерін қазіргі сән индустриясы өнімдеріне бейімдеудің мүмкіндігін көрсетті. Композициялық қағидаларды сақтай отырып жасалған дизайн шешімдері эстетикалық тұрғыдан үйлесімді, функционалдық жағынан тиімді және мәдени тұрғыдан мазмұнды болып шықты. Осылайша, зерттеу нәтижелерін талқылау этникалық стильдегі аксессуарлар дизайнының композициялық құрылымын ғылыми тұрғыда негіздеуге мүмкіндік берді және алынған қорытындыларды заманауи дизайн тәжірибесінде қолданудың өзектілігін айқындады.

Қорытынды. Ғылыми және шығармашылық-ізденіс жұмыстар нәтижесінде Ұлы Жібек жолы дәуірінің тарихи мұрасы аясында мәдениет пен өнерге талдауы жүргізілді, Орталық Азия мен Таяу Шығыс халықтарының сәндік-қолданбалы өнері зерттелді, сәндік және ою-өрнек бұйымдарының көркемдік және композициялық дизайнына талдау жасалды, этникалық стильдегі аксессуарлардың көркемдік және композициялық ерекшеліктері зерттелді. Сонымен қатар, жобаның көркемдік тұжырымдамасын негіздеу үшін стильдік белгілер мен символдар жүйесі жасалынды, «Ұлы Жібек жолы» ұранымен көркем бейне мен аксессуарлық графикалық ұсыныстар жасайтын дизайн шешімі жасалды, аксессуарлар жиынтығын жобалауға арналған өнім картасы жасалды және аксессуарлар жиынтығына арналған дизайн шешімі орындалды, жобаланған өнімдердің дизайны мен өңдеу технологиясы жасалды, материалда аксессуарлардың үлгілері дайындалды.

Жобаланған аксессуарлар топтамасының эстетикалық және утилитарлық көрсеткіштерін арттыру үшін симметрия, ырғақты қайталау, текстуралық шешімінің контрасты, түстік қатарының контрасты сияқты әртүрлі композициялық әдістер қолданылды. Нәтижесінде, әзірленген дизайн-тұжырымдамасы шығармашылық бастамалардың негізделген идеясына, таңдалған негізгі және қосымша материалдар, фурнитура түрлеріне, көркем-композициялық шешіміне толық үйлесімді болып келеді.

Әдебиеттер тізімі

1. Қасымова Г.С. Қазақ сәндік-қолданбалы өнері және этнодизайн [Мәтін]. – Алматы, 2019. – 35 б.
2. Әбдіғаппарова С.Қ. Ұлттық стиль және сән индустриясы [Мәтін]. – Алматы, 2022.
3. Болысбаев Д.С., Джартыбаева Ж.Д. Ою-өрнектің даму тарихы және қазіргі дизайндағы қолданылуы [Мәтін]. – Шымкент: Оқу баспасы, 2020. – 85 б.
4. Кашаев В.П. Декоративно-прикладное искусство. Понятия. Этапы развития [Текст]: учебное пособие для вузов. – Москва: Владос, 2021. – 256 с.
5. Казахско-иранские взаимосвязи в прикладном искусстве и этикете [Текст] // Материалы международной конференции «Иран и Дешты-Кыпчак». – Алматы, 2007.
6. Кузнецова Т.Ф. Народное художественное творчество: Исторические традиции и современные эстетические проблемы [Текст]. – Москва: Знание, 2016. – 36 с.
7. Казахские ювелирные украшение [Текст]: альбом. – Алматы: Өнер, 1985. – 25,15 п.л.

Материал редакцияға 08.04.26 түсті, 15.06.26 қабылданды.

У.С. Келесова[1], А.К. Жаппарова[1], И.С. Джиембетова[1]

[1]Таразский университет им. М.Х.Дулати, Тараз, Казахстан

АНАЛИЗ КОМПОЗИЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ДИЗАЙНА АКСЕССУАРОВ В ЭТНИЧЕСКОМ СТИЛЕ В ПРОДУКТАХ ИНДУСТРИИ МОДЫ

Аннотация. В статье всесторонне анализируется композиционная структура дизайна аксессуаров в этническом стиле в продуктах индустрии моды. В ходе исследования рассматриваются композиционные закономерности формы, объёмно-пропорциональных соотношений, симметрии и асиметрии, ритма, фактуры и цветовых решений этнических аксессуаров. Кроме того, выявлены особенности сочетания традиционных национальных элементов с требованиями современного

дизайна, определено их функциональное и эстетическое значение. Автор систематизирует композиционные приёмы, применяемые при проектировании аксессуаров в этническом стиле, и обосновывает их роль в повышении художественной ценности продукции индустрии моды. Результаты исследования предлагаются к практичекому использованию дизайнерам, специалистам индустрии моды и студентам специальности «Дизайн».

Ключевые слова: этностиль, символ, индустрия моды, композиция, аксессуар, конструкция.

U.S.Kelesova[1], A.K. Zhapparova[1], I.S. Jiyembetova[1]

[1]M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan

ANALYSIS OF THE COMPOSITIOHAL STRUCTURE OF ETHNIC-STYLE ACCESSORY DESIGN IN FASHION INDUSTRY PRODUCTS

Abstract. The article provides a comprehensive analysis of the compositional structure of ethnic-style accessory design in fashion industry products. The study examines the compositional patterns of form, volume-proportional relationships, symmetry and asymmetry, rhythm, texture, and color solutions of ethnic accessories. In addition, the features of combining traditional national elements with the requirements of modern design are revealed, and their functional and aesthetic significance is delermined. The author systematizes the compositional techniques used in the design of ethnic-style accessories and substantiates their role in enhancing the artistic value of fashion industry products. The research results are recommended for practical use by designers, fashion indystry specialists, and students majoring in Design.

Keywords: ethno-style, symbol, fahion industry, composition, accessory, construction.

References

1. Qasymova G.S. Qazaq sandik-qoldanbaly oneri zhane etnodizain [Kazakh decorative and applied arts and ethnodesign]. – Almaty, 2019. – 35 p. [in Kazakh].
2. Abdigapparova S.Q. Ulttyq stil' zhane san industriyasy [National style and the fashion industry]. – Almaty, 2022. [in Kazakh].
3. Bolysbaev D.S., Dzhartybaeva Zh.D. Oyu-ornektin damu tarikhy zhane qazirgi dizaindagy qoldanyluy [History of the development of ornament and its application in contemporary design]. – Shymkent: Oqu baspasy, 2020. – 85 p. [in Kazakh].
4. Kashaev V.P. Dekorativno-prikladnoe iskusstvo. Ponyatiya. Etapy razvitiya [Decorative and Applied Arts. Concepts. Stages of Development]: textbook for higher education institutions. – Moscow: Vlados, 2021. – 256 p. [in Russian].
5. Kazakhsko-iranskie vzaimosvyazi v prikladnom iskusstve i etikete [Kazakh-Iranian interrelations in applied arts and etiquette] // Proceedings of the International Conference "Iran and Dasht-i-Kipchak". – Almaty, 2007. [in Russian].
6. Kuznetsova T.F. Narodnoe khudozhestvennoe tvorchestvo: Istoricheskie traditsii i sovremennye esteticheskie problemy [Folk Art: Historical Traditions and Contemporary Aesthetic Issues]. – Moscow: Znanie, 2016. – 36 p. [in Russian].
7. Kazakhskie yuvelirnye ukrasheniya [Kazakh Jewelry]: album. – Almaty: Öner, 1985. – 25.15 printer's sheets. [in Russian].

МРНТИ 67.25.25

С.И. Чалы[1] – *основной автор,*
А.А. Корнилова[2]

[1]*Докторант,* [2]*Д-р архитектуры, профессор*

[1]*https://orcid.org/0009-0003-9226-1282* [2]*https://orcid.org/0009-0007-0448-3037*

[1,2]*Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина*

Астана, Казахстан

[1]*Sultan.chaly@gmail.com*

https://doi.org/10.55956/PIZT5170

АРХИТЕКТУРНАЯ СРЕДА ДВОРОВЫХ ПРОСТРАНСТВ ГОРОДА АСТАНЫ

Аннотация. В статье исследуется архитектурная среда дворовых пространств города Астаны с фокусом на детские игровые площадки. Анализ выявил основные проблемы: недостаточный уровень безопасности конструкций, ограниченную доступность для детей с особыми потребностями, а также скудное разнообразие игровых элементов, не отвечающее возрастным и функциональным требованиям. Делается акцент на вовлечении местных сообществ в процессы проектирования и реновации, что обеспечивает адаптацию объектов к практическим нуждам жителей и повышает их социальную ответственность. На основе систематического подхода предлагаются рекомендации по внедрению принципов инклюзивного дизайна, расширению ассортимента игровых модулей различного типа и организации образовательных программ для родителей и детей, направленных на повышение компетенций в области безопасного и осознанного использования городских пространств. Полученные результаты подтверждают необходимость комплексного междисциплинарного подхода к проектированию детских площадок для улучшения качества городской среды и гармоничного развития молодого поколения.

Ключевые слова: архитектурная среда, детские площадки, безопасность, инклюзивный дизайн, доступность, разнообразие игровых элементов, местные жители, городская среда.

Чалы, С.И. Архитектурная среда дворовых пространств города Астаны [Текст] / С.И. Чалы, А.А. Корнилова //Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №2(92). – С.263-278. https://doi.org/10.55956/PIZT5170

Введение. В условиях стремительного роста урбанизированной территории современные города сталкиваются с рядом задач, связанных с повышением качества городской среды, в частности в масштабах дворовых пространств. Динамично развивающаяся Астана требует пристального внимания к архитектурному оформлению своих дворовых зон, особенно к организации и обновлению детских игровых площадок. Актуальность данного исследования определяется необходимостью формирования безопасной, функциональной и визуально привлекательной среды для детей и их семей. В свете интенсивного урбанистического развития и изменяющихся

социальных запросов важно переосмыслить существующие подходы к проектированию и планировке дворовых территорий.

Цель исследования заключается в системном изучении текущего состояния архитектурной среды дворовых территорий Астаны с особым акцентом на детские игровые площадки и в обоснованной разработке рекомендаций по их реновации. В рамках работы планируется выявить ключевые проблемные аспекты, с которыми сталкиваются пользователи, и предложить инновационные проектные решения, направленные на повышение функциональности, безопасности и качества городской среды.

Новизна данного исследования заключается в применении интегрированного подхода к оценке архитектурной среды дворовых пространств, объединяющего количественные и качественные методы. В работе анализируются не только функциональные характеристики детских игровых площадок, но и их влияние на формирование социальных связей и психологическое благополучие детей и их родителей. На основе полученных данных разрабатываются рекомендации для стратегий усовершенствования городской инфраструктуры, что позволит создать более комфортную и безопасную среду в дворах Астаны.

Условия и методы исследований. В исследовании применялся комплексный методологический подход, объединяющий количественные и качественные методы анализа архитектурной среды. В качестве объекта изучения выбраны детские игровые площадки, расположенные в различных микрорайонах Астаны, как недавно установленные, так и реконструированные участки ранее действовавших площадок.

В рамках исследования были проведены полевые работы, включавшие визуальный осмотр и оценку состояния детских игровых площадок с точки зрения их безопасности, доступности и разнообразия игровых модулей. Безопасность объектов анализировалась в соответствии с нормативами национальных и международных стандартов. Параллельно была разработана анкетная форма для родителей и представителей местного сообщества, в которой изучались их оценки существующего состояния площадок, выявлялись потребности и предпочтения. Анкета содержала как закрытые, так и открытые вопросы, что обеспечило сбор количественных показателей и обогащённых качественных данных.

В дополнение к анкетированию были организованы полуструктурированные интервью с представителями местных органов управления, архитекторами, дизайнерами, а также педагогами и детскими психологами, что позволило получить углублённое понимание существующих проблем и перспективных решений в проектировании игровых зон. Качественные данные из открытых вопросов анкет и бесед подвергались контент-анализу для выделения основных тем и вызовов, связанных с архитектурой детских площадок. Результаты закрытых вопросов анкет обрабатывались с помощью описательной статистики и корреляционного анализа, что дало возможность выявить взаимосвязи между такими параметрами, как безопасность, доступность и разнообразие игровых элементов.

Для определения передовых практик реновации детских игровых площадок был осуществлён сравнительный анализ успешных проектов из разных городов и стран на основе изучения реализованных программ, научных публикаций и отчётных материалов, а также посредством консультаций с экспертами в области архитектуры и градостроительства. Все

участники исследования были проинформированы о целях, методах и принципах конфиденциальности, а их участие в анкетировании и интервью носило добровольный характер и сопровождалось письменным согласием на использование предоставленной информации в научных целях. Применённый интегрированный методологический подход обеспечил комплексное понимание текущего состояния архитектурной среды детских площадок Астаны и позволил выделить ключевые направления для их дальнейшего совершенствования.

Результаты исследований и их обсуждение. Аритектурная среда дворовых территорий, в частности детских игровых комплексов, играет ключевую роль в формировании благоприятной городской среды и оказывает значительное влияние на физическое и психологическое состояние детей. Далее будут детально рассмотрены основные аспекты, связанные с проектированием и обновлением этих пространств.

В своей работе «The City and the Grassroots» M. Castells отмечает, что публичные пространства выполняют функцию социальной интеграции, предоставляя площадку для взаимодействия детей и их родителей [1]. Такое взаимодействие рассматривается как ключевой механизм формирования чувства общности и территориальной принадлежности. Эмпирические данные свидетельствуют, что детские игровые зоны, спроектированные с учётом специфических потребностей местного сообщества, стимулируют более активное участие жителей в жизни микрорайона, что в итоге укрепляет социальные связи.

Современные исследования, в частности работа I. Fjørtoft [2], демонстрируют, что грамотно спроектированные детские площадки стимулируют не только развитие социальных умений, но и повышение физической активности детей. Игровые конструкции, ориентированные на поощрение совместной игры и движения, способствуют формированию навыков коммуникации, кооперации и разрешения конфликтов. Особенно важным это является в городской среде, где дети нередко испытывают дефицит возможностей для активной игры на открытом воздухе.

Исследования М.М. Левитана и В.А. Садовникова [3] указывают на необходимость трансформации городских пространств в соответствии с эволюционирующими запросами населения. При обновлении дворовых территорий важно учитывать не только физическую реконструкцию, но и создание инструментов для активного вовлечения жителей в проектный процесс. К таким инструментам относятся социологические опросы, общественные слушания и тематические воркшопы, в ходе которых граждане могут формулировать свои пожелания и вносить конкретные предложения.

Концепция универсального дизайна предполагает формирование архитектурной среды, доступной для всех групп населения, в том числе для детей с ограниченными возможностями. В работе W.F.E. Preiser, E. Ostroff [4] акцентируется внимание на необходимости инклюзивного подхода при проектировании детских игровых зон, что включает разработку и интеграцию игровых модулей, адаптированных для детей с различными двигательными и сенсорными нарушениями.

В современных проектных концепциях подчёркивается значимость устойчивого развития и экологической составляющей. Как показывают исследования A.E. van den Berg, [5], интеграция зелёных зон в городскую среду способствует повышению качества жизни и укреплению психического здоровья жителей. При разработке детских игровых пространств

рекомендуется включать ландшафтные элементы: деревья, кустарники, цветочные группы, что не только обогащает визуальную среду, но и создаёт благоприятные условия для активного и естественного времяпрепровождения на открытом воздухе.

В исследовании L. Chawla [6] рассматривается воздействие архитектурных решений на игровые и познавательные активности детей в урбанизированной среде. Просторные планировочные решения, обеспечивающие свободное передвижение и возможности для самостоятельного исследования, способствуют развитию креативности и ощущению автономии у ребёнка. Напротив, замкнутые или неэргономичные пространства создают препятствия для игровой и исследовательской деятельности, что может отрицательно влиять на их всестороннее развитие.

Таким образом, планирование и обновление дворовых пространств, в том числе детских игровых зон, предполагает мультидисциплинарный подход, интегрирующий социальные, экологические и инклюзивные параметры. Данный вектор исследований и практических преобразований актуализирует необходимость дальнейшего углубленного анализа и реализации пилотных проектов, направленных на формирование безопасной и комфортной среды для детей и их семей. Важнейшими факторами успешной трансформации городских дворов служат активное вовлечение сообщества в процесс проектирования, применение принципов универсального дизайна и ориентация на принципы устойчивого развития.

В рамках исследования осуществлён отбор нескольких детских игровых площадок, представляющих различие по территориальному расположению, размерам, типу оборудования и интенсивности использования. В выборку вошли площадки, установленные как в новых жилых микрорайонах, так и в старых застройках, что обеспечило репрезентативность анализа архитектурной среды дворовых территорий Астаны. Для систематической оценки их состояния были разработаны критерии, свёрнуто представленные в Таблице 1.

Таблица 1

Критерии оценки состояния площадок

Критерий	Описание	Значимость
Безопасность	Оценка состояния оборудования на предмет наличия острых углов, трещин, ржавчины и других потенциальных опасностей для детей	Высокая: безопасность детей является приоритетом при использовании площадок
Доступность	Анализ наличия пандусов, ширины проходов и общего удобства доступа для детей с ограниченными возможностями	Высокая: доступность площадок для всех детей, включая маломобильных
Разнообразие игровых элементов	Оценка количества и разнообразия игровых конструкций, таких как качели, горки, песочницы и спортивные зоны	Средняя: разнообразие способствует развитию физических и социальных навыков детей
Состояние покрытия	Анализ состояния покрытия площадок (асфальт, трава, резиновое покрытие) и его соответствие стандартам безопасности	Высокая: качество покрытия влияет на безопасность и комфорт использования площадки
Эстетика и благоустройство	Оценка общего визуального восприятия площадки, наличие зелёных насаждений, скамеек и освещения	Средняя: эстетика влияет на привлекательность и использование площадки

Оценка каждого критерия производилась по пятибалльной шкале, где «1» соответствовало крайне неудовлетворительному состоянию, а «5» – образцовому уровню качества. Такой подход обеспечил формирование целостной картины состояния каждой площадки.

Комплексный анализ выявленных объектов продемонстрировал ряд недостатков и проблем, влияющих на комфорт и безопасность использования этих пространств (рис. 1).

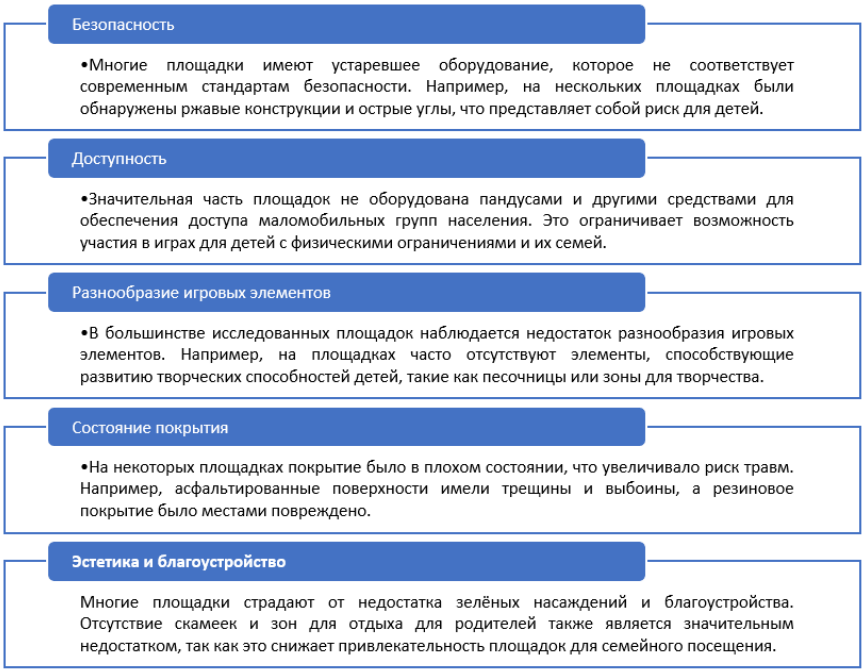


Рис. 1. Проблемы и недостатки существующих детских площадок

Данные выявленные недостатки свидетельствуют о необходимости проведения реновационных мероприятий и совершенствования архитектурной среды дворовых территорий Астаны с целью создания более безопасных и инклюзивных условий для игровой и развивающей активности детей.

Для изучения мнений пользователей относительно текущего состояния детских площадок и их обновления была разработана анкета с комбинацией закрытых и открытых вопросов. Анкетирование проводилось на протяжении трёх месяцев в различных микрорайонах города, включая как новые, так и устоявшиеся жилые комплексы.

Анкетирование было нацелено на родителей, опекунов и других жителей с опытом использования детских игровых площадок. Объём выборки составил 300 участников, что обеспечило статистическую репрезентативность результатов.

Анкета включала следующие блоки:

1. Демографические параметры – сведения об возрасте и поле респондентов, количестве и возрастном составе их детей.

2. Опыт эксплуатации площадок – частота посещений и предпочтительные виды игровых и оздоровительных активностей.

3. Оценка текущего состояния – анализ по ранее сформулированным критериям: безопасность, доступность, разнообразие игровых элементов, состояние покрытий и эстетические характеристики.

4. Рекомендательные разделы – открытые вопросы, направленные на сбор предложений и пожеланий по улучшению игровых зон.

Анкетирование выполнялось как в формате онлайн-опроса, так и посредством личных интервью, что позволило расширить охват респондентов и включить мнения тех участников, у которых отсутствует доступ к интернет-ресурсам.

1. Оценка состояния детских площадок

По результатам опроса 65% участников охарактеризовали текущее состояние детских игровых зон как неудовлетворительное, указывая на основные проблемы в области безопасности и доступности:

– Безопасность. 70% респондентов зафиксировали наличие повреждённых элементов оборудования.

– Доступность. 60% отметили отсутствие пандусов и достаточной ширины проходов.

– Разнообразие игровых элементов. 50% указали на недостаточное количество и типовой состав игровых модулей.

2. Частота использования

Примерно 80% респондентов посещают детские игровые зоны не реже одного раза в неделю, что подчёркивает значимость их состояния для местного сообщества.

3. Удовлетворенность

Лишь 25% опрошенных охарактеризовали текущее состояние дворовых площадок как удовлетворительное, тогда как 75% респондентов обозначили потребность в их капитальной модернизации.

Анализ ответов на открытые вопросы анкеты выявил ряд содержательных предложений, направленных на повышение качества дворовых детских площадок. В числе наиболее часто упоминаемых инициатив респонденты указали на необходимость:

– обеспечения повышенного уровня безопасности путём замены изношенного оборудования, а также внедрения системы регулярного технического осмотра и обслуживания объектов;

– расширения доступной среды за счёт установки пандусов и обустройства специализированных зон для детей с ограниченными возможностями;

– увеличения разнообразия функциональных игровых элементов, включая установку скалодромов, спортивных снарядов и зон для творческой активности;

– улучшения эстетического облика и благоустройства территорий посредством озеленения, размещения уличной мебели и организации качественного освещения.

Указанные предложения свидетельствуют о востребованности всестороннего подхода к модернизации дворовых площадок, основанного на учёте мнений и потребностей населения.

По результатам проведённого исследования представляется возможным выделить следующие положительные аспекты:

1. Социальные аспекты и взаимодействие. Существующие детские площадки на территории города Астаны выполняют значимую функцию в

контексте социальной интеграции и межличностного взаимодействия как среди детей, так и между членами их семей. Указанные пространства способствуют развитию коммуникативных компетенций, включая умения к кооперации и конструктивному разрешению конфликтных ситуаций. Эмпирические данные свидетельствуют о том, что регулярное пребывание на таких площадках способствует формированию устойчивых дружеских связей и положительно влияет на эмоциональное благополучие несовершеннолетних [2].

Кроме того, детские площадки функционируют в качестве точек социального притяжения для родителей, обеспечивая возможности для обмена воспитательным опытом и взаимной поддержки, что способствует укреплению внутрирайонных связей и формированию более консолидированного сообщества. Интенсификация межличностного взаимодействия в подобных пространствах способствует развитию чувства сопричастности к локальному социокультурному контексту, что, в свою очередь, оказывает положительное влияние на уровень общественной безопасности и способствует снижению показателей правонарушений в данном районе.

2. Положительные примеры успешных площадок. К числу успешных реализованных инициатив следует отнести проекты детских площадок, разработанных с учётом возрастных особенностей и функциональных потребностей детей, включая лиц с ограниченными возможностями здоровья. В отдельных административных районах города Астаны были внедрены инклюзивные игровые пространства, оборудованные элементами, обеспечивающими доступность и безопасность для всех категорий пользователей. В частности, примером эффективной реализации инклюзивного подхода служит площадка «Парк 101», наглядно демонстрирующая, каким образом грамотная организация городской среды способна удовлетворить потребности гетерогенной детской аудитории [7].

Дополнительно к числу эффективных практик проектирования относятся площадки, предусматривающие элементы экологической устойчивости, включая использование вторично переработанных материалов и интеграцию озеленённых территорий. Подобные решения не только повышают эстетическую привлекательность пространственной среды, но и выполняют просветительскую функцию, формируя у детей и их родителей экологически ориентированное поведение и осознанное отношение к вопросам охраны окружающей среды [6].

3. Влияние на развитие детей. Детские площадки играют существенную роль в обеспечении условий для всестороннего развития ребёнка, включая физическое, социальное и эмоциональное становление. Регулярная двигательная активность в рамках игровой деятельности на открытом воздухе способствует укреплению здоровья, повышению общей выносливости и совершенствованию координационно-моторных навыков. Кроме того, пребывание на свежем воздухе обеспечивает естественную выработку витамина D, что положительно влияет на функционирование иммунной системы.

Детские площадки представляют собой важный элемент городской инфраструктуры, способствующий созданию условий для гармоничного развития ребёнка в физическом, социальном и эмоциональном аспектах. Организованная двигательная активность в процессе игр на открытом воздухе оказывает положительное воздействие на состояние здоровья,

способствует повышению физической выносливости и развитию двигательной координации. Дополнительно, пребывание на свежем воздухе стимулирует естественный синтез витамина D, что оказывает благоприятное влияние на функционирование иммунной системы.

Также представляется возможным обозначить ряд недостатков, выявленных в ходе анализа.

1. Проблемы безопасности. Одним из ключевых недостатков функционирующих детских площадок на территории города Астаны является несоответствие установленным нормативам безопасности. Результаты проведённых исследований свидетельствуют о наличии многочисленных конструктивных и эксплуатационных нарушений, способных спровоцировать травматизм среди несовершеннолетних. В частности, фиксируются такие небезопасные элементы, как острые кромки игровых конструкций, дефекты покрытий в виде трещин, а также коррозионные повреждения металлических компонентов, что значительно повышает риск получения повреждений при эксплуатации оборудования.

Дополнительно, ограниченная освещённость территорий детских площадок в тёмное время суток представляет собой значительный фактор риска, способствующий повышению вероятности травматических ситуаций вследствие снижения видимости потенциально опасных объектов и препятствий [9]. Следует подчеркнуть, что обеспечение высокого уровня безопасности является приоритетной задачей при проектировании подобных объектов, поскольку пренебрежение данным аспектом может иметь негативные последствия для физического здоровья и общего благополучия детей. В таблице 2 представлены ключевые нормативные требования, регламентирующие параметры безопасности, которым должны соответствовать детские площадки.

Таблица 2

Стандарты безопасности для детских площадок

Элемент проверки	Описание	Стандарт безопасности
Отсутствие острых углов	Проверка игрового оборудования на наличие острых углов, которые могут травмировать детей	Все острые углы должны быть закруглены или защищены
Состояние покрытия	Оценка состояния покрытия площадки (асфальт, трава, резиновое покрытие) на наличие трещин и ям	Покрытие должно быть ровным, без повреждений
Освещение	Проверка наличия достаточного освещения на площадке для обеспечения безопасности в вечернее время	Освещение должно быть равномерным и достаточным для видимости
Состояние оборудования	Оценка игрового оборудования на предмет ржавчины, трещин и других повреждений	Оборудование должно быть в хорошем состоянии, без повреждений
Зоны безопасности	Проверка наличия зон безопасности вокруг игровых элементов, чтобы предотвратить травмы при падении	Зоны безопасности должны быть обеспечены мягкими покрытиями

2. Недостаток инклюзивности. Ещё одной существенной проблемой, выявленной при анализе функционирующих детских площадок, является низкий уровень инклюзивности. В большинстве случаев проектные решения

не предусматривают условий, обеспечивающих полноценный доступ и участие в игровой и социальной деятельности детей с ограниченными возможностями здоровья. В частности, отсутствие пандусов, специализированного игрового оборудования и адаптированных пространств для пользователей с нарушениями опорно-двигательного аппарата существенно ограничивает доступность данных объектов для указанной категории детей.

Научные исследования подтверждают, что инклюзивные детские площадки способствуют не только активизации физической деятельности у детей с ограниченными возможностями, но и их полноценной социальной интеграции, что является важным условием формирования инклюзивного и равноправного общества [10]. Отсутствие условий, обеспечивающих инклюзивность, может способствовать социальной изоляции данной категории детей и оказывать отрицательное воздействие на формирование их самооценки, что акцентирует необходимость более ответственного и продуманного подхода к проектированию общественных пространств.

3. Ограниченное разнообразие игровых элементов. Актуальная проблема, характерная для многих существующих детских площадок, заключается в ограниченном ассортименте игровых элементов. Преобладание однотипных конструкций, таких как стандартные качели и горки, не обеспечивает условий для всестороннего развития ребёнка. Разнообразие игровых компонентов играет важную роль в стимулировании двигательной активности, совершенствовании моторных навыков и формировании социального взаимодействия в детской среде.

Научные исследования свидетельствуют о том, что игровые площадки, включающие разнообразные функциональные элементы, способствуют повышенной вовлечённости детей в игровую деятельность и стимулируют межличностное взаимодействие [11]. В то же время, недостаточная вариативность игровых конструкций может обусловливать снижение интереса к подвижным формам досуга, что потенциально ограничивает возможности для полноценного физического и социального развития детей.

Выявленные проблемные аспекты требуют приоритетного рассмотрения со стороны специалистов в области проектирования городской среды и муниципальных органов управления с целью формирования более безопасных, инклюзивных и функционально разнообразных игровых пространств, ориентированных на всестороннее развитие детей и укрепление социальных связей в локальных сообществах.

Исходя из проанализированных результатов, авторами сформулирован комплекс рекомендаций, визуализированных на рисунке 2.

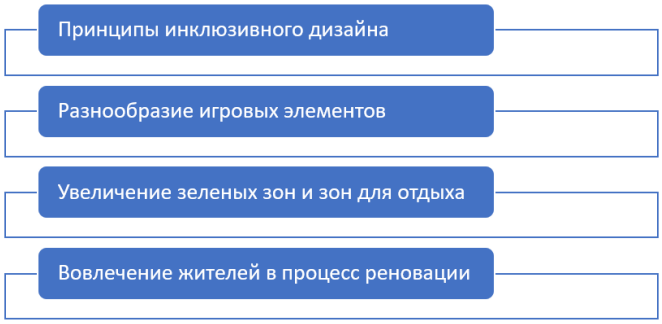


Рис. 2. Рекомендации по улучшению

Одной из приоритетных рекомендаций по совершенствованию архитектурной организации дворовых территорий выступает интеграция принципов инклюзивного дизайна. Под данным подходом понимается формирование среды, обеспечивающей равный и комфортный доступ для всех категорий пользователей, включая детей с ограниченными возможностями [12]. Реализация данной концепции предполагает проектирование игровых пространств с учётом разнообразных потребностей целевых групп. Визуальный пример представлен на рисунке 3.

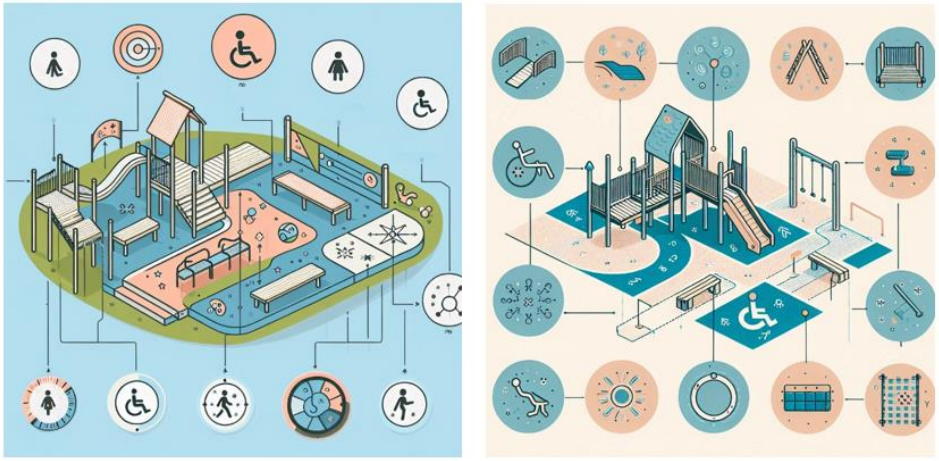


Рис. 3. Варианты схем инклюзивного дизайна

Эффективная реализация принципов инклюзивного дизайна требует интеграции в архитектурное решение ряда специализированных элементов, таких как пандусы, адаптированные игровые устройства, тактильные покрытия и рекреационные зоны. Эти компоненты обеспечивают возможность полноценного участия в игровой и коммуникативной деятельности для всех детей вне зависимости от их физических ограничений. В частности, установка качелей с дополнительной поддержкой для детей с особыми потребностями, а также организация игровых пространств, ориентированных на совместное взаимодействие между детьми с различными функциональными возможностями, способствуют значительному повышению инклюзивного потенциала игровой среды.

С целью обеспечения всестороннего развития детей и стимулирования их физической активности необходимо предусматривать расширение ассортимента игровых компонентов на детских площадках. Согласно результатам научных исследований, наличие разнообразных игровых конструкций способствует формированию у детей физических, социальных и эмоциональных навыков [2]. Визуальное представление указанных элементов приведено на рисунке 4.

Рис. 4. Игровые элементы, устанавливаемые на детских игровых площадках

В процессе проектирования детских площадок целесообразно предусматривать включение широкого спектра игровых компонентов, таких как спортивные зоны, скалодромы, песочные участки, водные интерактивные элементы и пространства для творческой деятельности. Данный подход способствует не только разнообразию досуговой активности, но и формированию условий для коллективной игры, что играет ключевую роль в развитии социальных навыков и укреплении межличностных связей среди детей. При этом особое внимание следует уделять возрастной дифференциации и интересам целевых групп пользователей при организации игровых зон.

Дополнительно, создание и расширение зелёных насаждений в непосредственной близости от детских площадок рассматривается как важный фактор повышения качества архитектурной среды. Озеленённые участки способствуют улучшению экологических характеристик территории, снижению уровня психоэмоционального напряжения и формированию комфортной среды для активного и безопасного отдыха. Иллюстративный пример данного решения представлен на рисунке 5.

Рис. 5. Схема зеленой зоны вокруг детской площадки

Рекомендуется предусматривать формирование озеленённых территорий, включающих высадку деревьев, кустарников и декоративных растений, а также обустройство зон отдыха, оснащённых скамейками и теневыми навесами. Подобная организация пространства способствует созданию благоприятной среды для игровой активности, одновременно обеспечивая комфортные условия для пребывания сопровождающих лиц. Наличие зелёных насаждений также способствует увеличению времени, проводимого детьми на открытом воздухе, что оказывает положительное влияние на их физическое развитие и общее состояние здоровья.

Одним из ключевых факторов успешной реновации дворовых территорий является активное привлечение местного населения к процессу проектирования и реализации преобразований. Эмпирические исследования подтверждают, что участие жителей в формировании общественных пространств способствует более точному учёту потребностей целевых групп пользователей и коррелирует с повышением уровня удовлетворённости качеством городской среды.

С целью повышения эффективности реновационных мероприятий рекомендуется проводить социологические опросы, организовывать фокус-группы и общественные обсуждения, направленные на выявление мнений и предпочтений жителей в отношении планируемых изменений. Такой подход способствует не только учёту интересов населения в процессе проектирования, но и формированию у граждан чувства сопричастности к формируемому пространству, что, в свою очередь, положительно влияет на уровень его использования и степень заботы о нём. Активное вовлечение местных жителей также способствует укреплению локального сообщества, что рассматривается как значимый фактор при формировании безопасной и инклюзивной городской среды.

Следует отметить, что реализация принципов инклюзивного дизайна, расширение ассортимента игровых элементов, развитие озеленённых территорий, а также активное участие местного населения в процессах реновации представляют собой приоритетные направления по улучшению архитектурно-пространственной организации дворовых территорий города Астаны. Комплексная реализация указанных мер позволит сформировать безопасную, доступную и функционально насыщенную среду, ориентированную на потребности детей и их семей.

Результаты проведённого анализа состояния детских площадок на территории города Астаны коррелируют с ранее полученными научными данными, акцентирующими значимость параметров безопасности, доступности и функционального разнообразия игровых элементов. В частности, согласно данным исследования [2], наличие качественно организованных игровых пространств оказывает положительное влияние на физическое и социальное развитие детей. В рамках настоящего исследования также было установлено, что значительное число действующих площадок не соответствует действующим требованиям безопасности, что может способствовать увеличению риска травматизма и снижению уровня двигательной активности у детей.

Дополнительно, полученные в ходе исследования результаты находятся в соответствии с выводами, представленными в работах [7,12], в которых подчёркивается важность обеспечения инклюзивности при проектировании детских игровых пространств. Анализ выявил, что значительное число площадок, функционирующих в городе Астане, не обеспечивает

необходимого уровня доступности для детей с ограниченными возможностями здоровья, что свидетельствует о целесообразности интеграции принципов универсального дизайна в реализацию последующих проектных решений.

Полученные в результате исследования данные обладают высокой прикладной значимостью для последующих этапов реновации и проектирования детских игровых пространств в городе Астане. Результаты свидетельствуют о наличии значительного ресурса для оптимизации архитектурной среды дворовых территорий, что может оказать благоприятное воздействие на физическое здоровье и общее благополучие детей. Реализация сформулированных рекомендаций, включая расширение спектра игровых элементов и создание инклюзивных пространств, обладает потенциалом для стимулирования физической активности несовершеннолетних и укрепления процессов их социальной интеграции.

Кроме того, полученные результаты акцентируют значимость активного участия местного населения в процессах проектирования, что способствует формированию более адаптированных к реальным потребностям и функционально востребованных пространств. Вовлечение сообщества в реализацию реновационных инициатив не только повышает качественные характеристики проектных решений, но и способствует укреплению чувства сопричастности и ответственности жителей за состояние и развитие общественных территорий.

Несмотря на высокую значимость полученных эмпирических данных, сохраняется потребность в проведении последующих исследований, направленных на более детальное изучение пользовательских потребностей и особенностей функционирования детских игровых пространств. Перспективным направлением для дальнейшего научного анализа является оценка долгосрочного влияния внедрения принципов инклюзивного дизайна и расширенного спектра игровых элементов на процессы физического, когнитивного и социального развития детей.

Целесообразным представляется также проведение сравнительных исследований, охватывающих различные города и регионы, с целью выявления эффективных практик проектирования и модернизации детских площадок, которые могут быть адаптированы к условиям города Астаны. В рамках данного подхода возможно изучение зарубежного опыта успешной реновации и оценка его релевантности с учётом специфики казахстанской урбанистической среды.

Следует подчеркнуть, что процессы социальной и психологической адаптации лиц с ограниченными возможностями передвижения обладают высокой степенью сложности и многоаспектности, требуя междисциплинарного взаимодействия специалистов различных направлений. Для эффективной интеграции данной категории пользователей в общественное пространство необходимо формирование специализированных архитектурно-планировочных решений, ориентированных на удовлетворение их специфических потребностей [13].

В качестве обобщающего вывода следует отметить, что результаты проведённого исследования подчёркивают актуальность реализации комплексного подхода к проектированию и модернизации детских площадок, предполагающего учёт не только физико-пространственных параметров, но и социально-культурных факторов. Такой подход позволит сформировать более безопасные, доступные и инклюзивные городские пространства,

способствующие всестороннему развитию детей и повышению общего уровня качества городской среды.

Заключение. По результатам проведённого анализа архитектурной организации дворовых пространств города Астаны, с акцентом на состояние и функциональность детских площадок, были сформулированы ряд ключевых положений. Прежде всего, обеспечение безопасности определяется в качестве приоритетного направления, поскольку значительное количество существующих площадок не соответствует актуальным нормативам, что создаёт потенциальные риски травматизма среди детей. Кроме того, выявлена недостаточная доступность игровых пространств для детей с ограниченными возможностями здоровья, что указывает на необходимость активного внедрения принципов инклюзивного проектирования. Также было зафиксировано ограниченное разнообразие игровых компонентов, что негативно сказывается на потенциале физического и социального развития несовершеннолетних пользователей. Существенным аспектом признано участие местного населения в процессах проектирования и реновации, поскольку включённость сообщества способствует формированию более релевантных, востребованных и устойчивых общественных пространств.

Архитектурно-пространственная организация дворовых территорий, включая детские игровые площадки, представляет собой значимый компонент в формировании благоприятной городской среды. Она оказывает комплексное воздействие на физическое и психоэмоциональное состояние детей, одновременно способствуя процессам социальной интеграции и межсемейного взаимодействия, тем самым формируя предпосылки для становления активного и сплочённого городского сообщества. Качественно спроектированные, безопасные и функциональные площадки выступают в роли общественных центров, повышающих привлекательность жилой среды. Учет потребностей всех категорий населения, в том числе детей с ограниченными возможностями, при формировании архитектурной среды способствует инклюзивности и устойчивости городской инфраструктуры.

Учитывая выявленные результаты, представляется целесообразным продолжение научных исследований, ориентированных на анализ долгосрочного воздействия инклюзивного дизайна и расширенного спектра игровых элементов на развитие детей. Изучение успешных практик реновации детских площадок в различных городах и странах может способствовать адаптации наиболее эффективных решений к условиям города Астаны. Особое внимание следует уделить активному включению местных жителей в процессы проектирования и преобразования общественных пространств, что позволит более полно учитывать их потребности и предпочтения. Кроме того, организация просветительских мероприятий для родителей и детей, направленных на повышение осведомлённости о правилах безопасного использования площадок и важности физической активности, будет способствовать формированию более безопасной и поддерживающей архитектурной среды. В совокупности, полученные данные подтверждают необходимость системного подхода к проектированию и модернизации детских площадок, направленного на улучшение качества городской жизни и обеспечение гармоничного развития детей.

Список литературы

1. Castells M. The City and the Grassroots: A Cross-Cultural Theory of Urban Social Movements. – Berkeley: University of California Press, 1983. – 450 p.
2. Fjørtoft I. The Natural Environment as a Playground for Children: The Impact of Outdoor Play Activities in Pre-Primary School Children // Early Childhood Education Journal. – 2001. – Vol. 29, No. 2. – P. 111-117. DOI: 10.1023/A:1012576913074.
3. Levitan M.M., Sadovnikov V.A. Gorodskaya renovatsiya: problemy i resheniya [Urban renovation: problems and solutions]. – Moscow: Nauka [Science], 2016. – 569 p. [in Russian].
4. Preiser W.F.E., Ostroff E. Universal Design Handbook. – New York: McGraw-Hill, 2001. – 960 p.
5. van den Berg A.E., Maas J., Verheij R.A., Groenewegen P.P. Green space as a buffer between stressful life events and health // Social Science & Medicine. – 2010. – Vol. 70, No. 8. – P. 1203-1210. DOI: 10.1016/j.socscimed.2010.01.002.
6. Chawla L. Benefits of Nature Contact for Children // Journal of Planning Literature. – 2015. – Vol. 30, No. 4. – P. 433-452. DOI: 10.1177/0885412215595441.
7. Stanton-Chapman T.L., Schmidt E.L. Building Playgrounds for Children of All Abilities: Legal Requirements and Professional Recommendations // Early Childhood Education Journal. – 2019. – Vol. 47, No. 5. – P. 509-517. DOI: 10.1007/s10643-019-00947-3.
8. Woolley H. Urban Parks: A New Approach to Planning and Design // Journal of Urban Design. – 2003. – Vol. 8, No. 2. – P. 149-170. DOI: 10.4324/9780203402146.
9. Kyttä M. The Extent of Children's Independent Mobility and the Number of Actualized Affordances as Criteria of a Child-Friendly Environment // Journal of Environmental Psychology. – 2004. – Vol. 24, No. 2. – P. 179-198. DOI: 10.1016/S0272-4944(03)00073-2.
10. Zosh J.M., Hopkins E.J., Jensen H., Liu C., Neale D., Hirsh-Pasek K., Solis S.L., Whitebread D. Learning through Play: A Review of the Evidence. – Billund: The LEGO Foundation, 2017. – 40 p.
11. Moore R.C. Childhood's Domain: Play and Place in Child Development. – London: Croom Helm, 1986. – 311 p.
12. Broekhuizen K., Scholten A.M., de Vries S.I. The Value of (Pre)School Playgrounds for Children's Physical Activity Level, Well-Being, and Social and Cognitive Development: A Systematic Review // International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity. – 2014. – Vol. 11. – Art. 59. DOI: 10.1186/1479-5868-11-59.
13. Yessenbayev E., Akhmetshin E., Kurikov V., Hajiyev H., Chernova O., Litvinov A., Shichiyakh R., Alkhanov N. Application of the Adaptive Approach for Forming the Concept of an Inclusive Residential Environment in the Context of Regional Differences // Civil Engineering and Architecture. – 2024. – Vol. 12, No. 5. – P. 3480-3499. DOI: 10.13189/cea.2024.120526.

Материал поступил в редакцию 01.05.25, принят 16.04.26.

С.И. Чалы[1], А.А. Корнилова[1]

[1]С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан

АСТАНА ҚАЛАСЫ АУЫЛ КЕҢІСТІКТЕРІНІҢ СӘУЛЕТТІК ОРТАСЫ

Аңдатпа. Мақалада балалар ойын алаңдарына назар аудара отырып, Астанадағы аулалық кеңістіктердің архитектуралық ортасы қарастырылады. Талдау негізгі проблемаларды анықтады: құрылымдардың қауіпсіздік деңгейінің

жеткіліксіздігі, ерекше қажеттіліктері бар балалар үшін қолжетімділіктің шектеулілігі, сондай-ақ жас және функционалдық талаптарға сәйкес келмейтін ойын элементтерінің нашар әртүрлілігі. Нысандардың тұрғындардың практикалық қажеттіліктеріне бейімделуін қамтамасыз ететін және олардың әлеуметтік жауапкершілігін арттыратын жобалау және жөндеу процестеріне жергілікті қоғамдастықтарды тартуға баса назар аударылады. Жүйелі көзқарас негізінде инклюзивті дизайн қағидаттарын енгізу, әртүрлі типтегі ойын модульдерінің ауқымын кеңейту және ата-аналар мен балаларға қалалық кеңістікті қауіпсіз және саналы пайдалану саласындағы құзыреттіліктерді арттыруға бағытталған білім беру бағдарламаларын ұйымдастыру бойынша ұсыныстар ұсынылады. Алынған нәтижелер қалалық ортаның сапасын жақсарту және өскелең ұрпақтың үйлесімді дамуы үшін ойын алаңдарын жобалауға кешенді пәнаралық көзқарастың қажеттілігін растайды.

Тірек сөздер: архитектуралық орта, ойын алаңдары, қауіпсіздік, инклюзивті дизайн, қолжетімділік, ойын элементтерінің әртүрлілігі, жергілікті тұрғындар, қалалық орта.

S.I. Chaly[1], A.A. Kornilova[1]

[1]S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan

ARCHITECTURAL ENVIRONMENT OF COURTYARD SPACES IN ASTANA

Abstract. The article examines the architectural environment of courtyard spaces in Astana with a focus on children's playgrounds. The analysis revealed the main problems: insufficient level of safety of structures, limited accessibility for children with special needs, as well as a poor variety of play elements that do not meet age and functional requirements. Emphasis is placed on the involvement of local communities in the design and renovation processes, which ensures the adaptation of objects to the practical needs of residents and increases their social responsibility. Based on a systematic approach, recommendations are proposed for the implementation of inclusive design principles, expanding the range of play modules of various types and organizing educational programs for parents and children aimed at improving competencies in the field of safe and conscious use of urban spaces. The obtained results confirm the necessity of a comprehensive interdisciplinary approach to the design of playgrounds to improve the quality of the urban environment and the harmonious development of the younger generation.

Keywords: architectural environment, playgrounds, safety, inclusive design, accessibility, diversity of play elements, local residents, urban environment.

МРНТИ 67.13.21

И.И. Бекбасаров[1] – *основной автор,*
Е.И. Атенов[2], Н.А. Шаншабаев[3]

[1]Д-р техн. наук, [2]PhD, [3] PhD

[1]https://orcid.org/0000-0003-3250-7853 [2]https://orcid.org/0000-0002-2907-6610
[3]https://orcid.org/0000-0003-4930-0488

[1,2,3]Таразский университет им. М.Х. Дулати

Тараз, Казахстан

[1]ii.bekbasarov@dulaty.kz

https://doi.org/10.55956/YOUN3512

ДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАИ И РОСТВЕРКА, УСТРОЕННОГО В ВЫШТАМПОВАННОМ КОТЛОВАНЕ

Аннотация. Изложены результаты анализа формул, предназначенных для определения сопротивления свай по результатам динамических испытаний. Выявлены их недостатки. Установлено, что существующая методика проведения динамических испытаний, и применяемые формулы, не адаптированы к условиям устройства комбинированного свайного фундамента, в котором ростверк, устраивается в котловане, выштампованном в околосвайном грунте. Определен перечень технологических операций и порядок проведения динамических испытаний комбинированного свайного фундамента. Для выполнения испытаний предложено использовать стальной полый шаблон, имитирующий штамп. Приведены исходные предпосылки, характеризующие особенности взаимодействия элементов системы «молот-шаблон штампа-свая-грунт», при ударе молота, и на их основе составлены уравнения энергетического баланса для двух ударных режимов работы дизельных молотов (без подачи и с подачей топлива в камеру сгорания молота). На основе уравнений энергетического баланса получены формулы по определению динамического сопротивления грунта, внедрению шаблона штампа и сваи, при ударе. Формулы учитывают характер деформирования грунта при погружении сваи и шаблона штампа, а также динамические параметры элементов системы «молот-шаблон штампа-свая-грунт» (динамические нагрузки, динамические деформации, коэффициент динамичности по нагрузке и деформациям). Предложена формула по определению статического сопротивления сваи и свайного ростверка в виде разницы между динамическим и вязким сопротивлением грунта, которая зависит от скорости перемещения сваи при ударе молота.

Ключевые слова: свая, штамп, молот, шаблон, ростверк, грунт, удар, сопротивление, вязкое сопротивление, отказ, скорость, коэффициент динамичности, модуль упругости.

Бекбасаров, И.И. Динамический метод оценки несущей способности сваи и ростверка, устроенного в выштампованном котловане [Текст] / И.И. Бекбасаров, Е.И. Атенов, Н.А. Шаншабаев // Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №2(92). – С.279-314. https://doi.org/10.55956/YOUN3512

Введение. Известно, что забивка сваи в грунтовое напластование представляет собой сложный динамический процесс. Это обусловлено тем, что при погружении сваи передача энергии удара молота к грунту осуществляется через соударение множества элементов системы «молот-свая-грунт», обладающих разной прочностью, разной толщиной и находящихся в разном состоянии. Но, несмотря на это, теоретический и практический интерес к изучению этого процесса со стороны специалистов достаточно высок. Данное обстоятельство, прежде всего, продиктовано возможностью оперативной оценки несущей способности сваи по результатам ее забивки (динамических испытаний в конце погружения). Это позволяет отказаться от определения несущей способности свай путем проведения трудоемких и продолжительных во времени статических испытаний. Несомненно, практическая реализация такой возможности способствует повышению экономичности и значительному снижению сроков возведения строительных объектов.

В настоящее время в сфере свайной геотехники существуют множество решений (формул), предложенных для определения несущей способности свай на основе их динамических испытаний. По сведениям работы [1] их общее количество составляет более 200, что само по себе свидетельствует, об актуальности данной проблемы, и огромном стремлении специалистов к ее решению. В целом, все известные формулы, предназначенные для реализации динамического метода оценки несущей способности свай, можно разделить на следующие 5 групп:

1) Формулы, полученные на основе закона сохранения механической энергии [2-13];

2) Формулы, составленные на основе закона сохранения импульса (количества движения) [14,15];

3) Формулы, разработанные на основе использования положений волновой теории удара [16-20];

4) Формулы, представляющие собой корреляционные зависимости, полученные по результатам экспериментальных исследований [1,21-25];

5) Формулы, базирующиеся на законах Ньютона [26,27].

Для каждой из представленных групп динамических формул, характерны свои преимущества и недостатки, обусловленные исходными теоретическими и экспериментальными положениями, принятыми при их разработке. В силу этих причин они обладают разным уровнем достоверности и разной областью практического применения. Кроме расчетных формул, несущая способность свай по результатам их динамических испытаний, определяется и численными методами. При этом используются программные комплексы, разработанные на основе метода конечных разностей [25] и принципов волновой теории удара [27-31].

В СНГ, в том числе и в Казахстане, в строительной отрасли, для определения сопротивления забивных свай (по результатам динамических испытаний), применяются решения, основанные как на законе сохранения механической энергии, так и на принципах волновой теории. Так в состав свода строительных правил [32] входит модифицированная формула Н.М. Герсеванова и формула Б.В. Бахолдина, полученные на основе уравнений энергетического баланса процесса ударного погружения сваи, а стандарт [33] предусматривает проведение динамических испытаний методом, позволяющим использовать принципы волновой теории удара. Метод, основанный на волновой теории [33], позволяет приближенно оценивать

сопротивление грунта по боковой поверхности сваи и под его нижним концом. С помощью данного метода можно моделировать зависимость осадки сваи от вдавливающей нагрузки.

Формула Н.М. Герсеванова, входящая в состав действующего свода правил [32], по сравнению с другими динамическими формулами является наиболее «жизнеспособной», так как она активно используется более 70 лет. За годы применения формулы, специалистами был выдвинут ряд предложений по ее совершенствованию. Эти предложения, в основном, касались:

- достоверности определения энергии удара молота, при использовании дизельных молотов для проведения динамических испытаний свай [34-39];
- учета упругих деформаций грунта и сваи при ударе молота [3,4,11,13,21,34];
- дифференцированного назначения коэффициента η, принимаемого в формуле Н.М. Герсеванова в зависимости от материала сваи и способа проведения динамического испытания [25,34,40-43];
- учета вязкого сопротивления грунта при погружении сваи [7-13].

Принимая во внимание перечисленные факторы, отечественными и зарубежными специалистами были разработаны различные варианты формул, близких по структуре к формуле Н.М. Герсеванова. Подавляющее большинство из них не получили надлежащего применения в геотехнической практике. Исключением является формула Б.В. Бахолдина, которая в настоящее время входит в состав свода строительных правил [32], и регламентирована к применению при остаточном отказе сваи 3 мм и более. Данная формула, позволяет выполнять расчеты с учетом вязкого сопротивления грунта при ударе молота по свае.

Анализ вышеупомянутых формул (в том числе формул, входящих в состав свода строительных правил [32]), базирующихся на уравнениях энергетического баланса ударного процесса, позволяет утверждать, что все они, несмотря на их научную и практическую ценность, не лишены недостатков. Ниже, нами рассмотрены эти недостатки с позиции их влияния на энергетические затраты молота при ударе по свае.

Так при забивке сваи, энергия удара работающего дизельного молота зависит от объема (расхода) топлива, поступаемого в камеру сгорания молота, и сгораемого в нем, при ударе. Из работ [38,39] следует, что увеличение объема топлива, сопровождается увеличением энергии удара молота, а уменьшение объема топлива, наоборот – его уменьшением. Поэтому при определении сопротивления сваи по результатам производственной забивки дизельным молотом энергия ее удара должна устанавливаться с учетом данного фактора. Но, к сожалению, существующие формулы не предоставляют такую возможность.

Как известно при ударе молота, наряду со сжатием ствола сваи, происходит также и сжатие шабота молота, элементов наголовника и амортизатора в нем. При этом шабот и элементы наголовника могут претерпевать, в основном, упругие деформации, а амортизатор, как и свая, могут иметь как упругие, так и пластические (остаточные) деформации. Следовательно, часть энергии удара молота, затрачивается и на сжатие этих соударяющихся элементов. Поэтому для вывода достоверной формулы по определению сопротивления сваи, важно в уравнении энергетического баланса учитывать затраты молота на сжатие шабота, элементов наголовника

и амортизатора. В существующих формулах эти энергетические затраты либо не учитываются, либо учитываются обобщенно (упрощенно).

При погружении сваи, до удара молота, к свае прикладывается статическая нагрузка от массы самого молота, массы наголовника и амортизатора в нем. В процессе удара указанные элементы перемещаются вниз за сваей, что, несомненно, сопровождается соответствующими затратами энергии молота. Несмотря на то, что данное явление, реально имеет место на практике и не оспаривается специалистами, оно не принимается во внимание при выводе формул.

В большинстве случаев (за исключением процесса забивки сваи в слабые грунты) после удара по свае происходит подскок ударной части молота. Подскок ударной части молота, происходит за счет действия сил упругого отпора грунта. Эти силы, направлены вверх, и до подбрасывания ударной части молота на некоторую высоту, осуществляют подъем как самой сваи, так и амортизатора, наголовника и молота (за исключением его ударной части) на высоту, равную величине упругого отказа сваи. Наличие и проявление сил упругого отпора свидетельствует о том, что часть энергии молота, после ударного контакта возвращается обратно молоту. Если факт отскока ударной части молота в ряде существующих формулах учитывается, то факт подъема перечисленных ударяющихся элементов системы «молот-свая-грунт» (за счет сил упругого отпора грунта) пренебрегается.

Кроме вышеуказанных недостатков существующих формул, относящихся к энергетическим затратам молота, имеют место и другие значительные упущения, которые также оказывают негативное влияние на достоверность определения сопротивления сваи. Так, в формулах, учитывающих вязкое сопротивление грунта, ее параметры, назначаются в виде постоянных величин, независимо от скорости движения сваи при ударе молота [11,32]. Такой подход противоречит эмпирическому закону вязкого трения, принятому в классической механике [44] и снижает точность расчетов по рассматриваемым формулам.

Касаясь сопротивления грунта при ударе, важно отметить, что в зависимости от энергии удара при одинаковых условиях забивки сваи, оно, в общем виде, может проявляться в виде упругого, упругопластического, и пластического сопротивления. При упругом сопротивлении грунта имеют место упругие деформации. При упругопластическом сопротивлении проявляются как упругие, так и пластические деформации грунта, а при пластическом сопротивлении – только пластические. Несомненно, проявление того или иного вида деформирования (сопротивления) грунта при ударе, непосредственно связано с энергетическими затратами молота. Следовательно, характер динамического деформирования грунта нуждается в учете при определении сопротивления сваи. Данный фактор, к сожалению, в настоящее время, остается без внимания со стороны специалистов.

Принципиально важным упущением при выводе большинства существующих формул, в том числе и формулы Н.М. Герсеванова, входящей в состав свода правил [32], является то, что авторы допускали, что сопротивление сваи, определяемое из уравнения энергетического баланса, соответствует его сопротивлению при действии статической вдавливающей нагрузки. Таким образом, имело и имеет место до сих пор подмена динамического сопротивления сваи статическим сопротивлением. Такой подход, не вполне соответствует, фактической картине поведения грунта при забивке сваи. Доказательством этому служат исследования, выполненные

Б.В. Бахолдиным и его учениками [7-11], в результате которых было установлено, что статическое сопротивление сваи, особенно в глинистых грунтах, не идентично, динамическому сопротивлению сваи. Исходя из этого, были получены формулы, которые позволяют статическое сопротивление сваи, определять с учетом вязкого сопротивления грунта (динамической составляющей сопротивления грунта). К этой группе формул относится и формула Б.В. Бахолдина, входящая в состав свода правил [32]. Но, если вопрос учета характера динамического поведения грунта при забивке сваи, к настоящему времени, в то или иной мере решен положительно, то подобного нельзя утверждать в отношении учета особенностей динамического сопротивления сжатию других (кроме грунта) ударяющихся элементов системы «молот-свая-грунт».

В целом, наличие недостатков в динамических формулах, а также упущений, допущенных при их выводе, свидетельствует об актуальности дальнейшего совершенствования динамического метода оценки сопротивления свай.

Актуальность модернизации существующего динамического метода особо важна также и для комбинированного свайного фундамента, в котором ростверк, устраивается в котловане, выштампованном в околосвайном грунте [45]. Устройство такого фундамента включает в себя как забивку сваи, так и забивку поверху нее полого штампа для выштамповывания котлована в околосвайном грунте. Поэтому процесс устройства комбинированного свайного фундамента является более сложным процессом, чем процесс забивки одиночной сваи. Несомненно, эти особенности требует своего учета как при установлении порядка проведения динамических испытаний, так и при оценке несущей способности сваи и ростверка по результатам этих испытаний.

Материалы и методы исследований. В настоящей работе пути модернизации метода рассматриваются применительно к определению сопротивления комбинированного односвайного фундамента, включающего в себя забивку сваи и устройство ростверка в локальном котловане, выштампованного в околосвайном грунте, после забивки сваи [45]. Динамические испытания комбинированного свайного фундамента включают в себя следующие технологические операции (рис. 1) [46]:

1) Забивку сваи 1 молотом 2;

2) Установку стального штампа 3 (со сквозным отверстием в центре для пропуска головной части сваи) поверху сваи на поверхность грунта;

3) Забивку штампа (выштаповывание котлована);

4) Подъем съемной верхней части штампа 4;

5) Добивку сваи по требуемой глубины при помощи стальной стойки 5 с амартизатором 6 в нижней части;

6) Подъем нижней части штампа 7 (извлечение штампа из котлована 8);

7) Укладку амортизатора 6 на торцовую поверхность (на голову) сваи;

8) Установку полого стального шаблона 9 (с упорным выступом 10 и стойкой 11), поверху головы сваи;

9) Размещение стойки шаблона 10 в наголовнике молота;

10) Сжатие шаблона штампа весом молота для обеспечения плотного контакта днища и боковой поверхности шаблона с грунтом котлована, а также для достижения подобного контакта дна упорного выступа шаблона с амортизатором и торцом сваи;

11) Нанесение удара (ударов) молотом по стойке шаблона с измерением полного и упругого отказов шаблона штампа и сваи, а также скорости или продолжительности их перемещений при ударе (ударах).

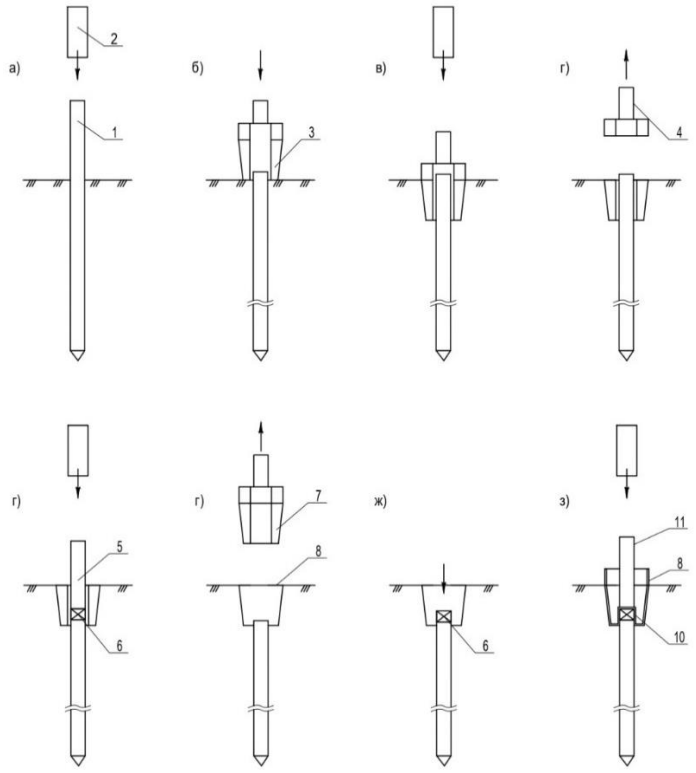


Рис. 1. Технологическая схема проведения динамических испытаний

Для составления исходных уравнений энергетического баланса взаимодействия элементов системы «молот-шаблон штампа-свая-грунт» при ударе молота, приняты соответствующие исходные предпосылки. Предпосылки составлены применительно к условиям устройства комбинированного свайного фундамента с применением дизельных молотов. К ним относятся:

1) Полная энергия молота включает в себя механическую часть энергии удара и энергию взрыва горючей смеси в камере сгорания молота при ударе, которая зависит от расхода (объема) топлива;

2) При ударе часть энергии молота затрачивается на сжатие ударяющихся элементов (шабота молота, элементов наголовника, амортизатора в нем, стойки шаблона, амортизатора в упорном выступе шаблона и сваи);

3) При ударном сжатии в ударяющихся элементах системы (кроме грунта) проявляются только упругие деформации;

4) Упругие деформации ударяющихся элементов системы вызваны динамическими (ударными) нагрузками (усилиями), которые превышают соответствующие статические нагрузки (усилия);

5) Масса молота (без учета массы ударной части молота), шабота, наголовника и амортизатора в нем, а также масса сваи, стального шаблона

штампа и амортизатора в упорном выступе шаблона, до удара приложены к грунту в виде статической нагрузки;

6) При ударе элементы системы, указанные в позиции 5, перемещаются вниз на величину полного отказа сваи и шаблона штампа, что сопровождается затратами энергии удара молота;

7) Часть энергии удара молота затрачивается на работу по преодолению силы динамического сопротивления грунта, а также на формирование силы его упругого динамического отпора в конце удара;

8) Динамическое сопротивление комбинированного свайного фундамента (сваи и шаблона штампа) в глинистых грунтах состоит из статической составляющей и вязкого сопротивления, зависящего от скорости совместного движения сваи и шаблона штампа при ударе, а в песчаных грунтах – из статической составляющей, не зависящей от скорости движения сваи и шаблона штампа;

9) Динамическое сопротивление комбинированного свайного фундамента при ударе молота зависит от характера деформирования грунта при совместном внедрении в него сваи и шаблона штампа;

10) Сила упругого динамического отпора грунта, затрачивается на работу по подъему ударяющихся элементов на величину упругого отказа сваи и шаблона, а также на подскок ударной части молота в конце ударного контакта;

11) Часть энергии удара возвращается молоту в виде работы силы упругого динамического отпора грунта по подъему ударяющихся элементов на величину упругого отказа сваи и шаблона, а также в виде работы по обеспечению подскока ударной части молота в конце удара;

12) Подскок ударной части молота в конце удара по свае имеет место при механическом ударе, а при ударе работающим молотом (например, при ударе дизельного молота с подачей топлива в камеру его сгорания), подскок как физическое явление не проявляется. В этом случае сила упругого динамического отпора грунта, полностью затрачивается на подъем ударяющихся элементов системы вверх.

Результаты исследований. *Уравнения энергетического баланса и определение динамического сопротивления грунта, внедрению шаблона штампа и сваи.*

Исходя из принятых предпосылок, составлены следующие два уравнения энергетического баланса, для процесса ударного взаимодействия элементов системы «молот-шаблон штампа-свая-грунт»:

$$E_d - (A_{oэ} + A_{op}) = \left(E_{sэ} + E_{pэ}\right) + E_{dg}\ , \qquad (1)$$

$$E_d - A_{oэ} = \left(E_{sэ} + E_{pэ}\right) + E_{dg}, \qquad (2)$$

где: E_d – полная энергия удара молота; $A_{oэ}$ – работа силы упругого динамического отпора грунта по подъему ударяющихся элементов на величину упругого отказа сваи и шаблона штампа; A_{op} – работа силы упругого динамического отпора грунта по обеспечению подскока ударной части молота; $E_{sэ}$ – энергия удара молота, которая затрачивается на упругое сжатие ударяющихся элементов системы; $E_{pэ}$ – энергия удара молота, которая затрачивается на перемещение ударяющихся элементов системы

вниз на величину полного отказа сваи и шаблона штампа; E_{dg} – энергия молота, затрачиваемая по преодоление динамического сопротивления грунта.

Уравнение (1) приемлемо для случая, когда удар молота по свае, наносится отключенным молотом, в виде механического удара. Например, к такому удару относится удар дизельного молота без подачи топлива в камеру его сгорания. Уравнение (2), в свою очередь, приемлемо для случая, когда удар молота по свае осуществляется работающим дизельным молотом с подачей топлива в камеру его сгорания.

Рассмотрим пути определения параметров, входящих в уравнения (1) и (2). Полную энергию удара дизельного молота E_d в уравнении (1) рекомендуется определять по формуле (3), а в уравнении (2) – по формуле (4):

$$E_d = \left(E_{mp} - E_{sk}\right) = GHk - AH_pP_u\ , \tag{3}$$

$$E_d = \left(E_{mp} + E_{tp} - E_{sk}\right) = GHk + \left[\frac{Ak_{\text{в}}V_t\text{в}}{(n-1)}\right] x \left\{1 - [\frac{\text{в}}{(\text{в}+k_sS_n)}]^{n-1}\right\} - AH_pP_u, \tag{4}$$

где: E_{mp} – энергия механического удара молота; E_{tp} – энергия взрыва горючей смеси в камере сгорания молота, идущая на погружение сваи; E_{sk} – энергия удара молота, расходуемая на сжатие воздуха в его камере сгорания; G - вес ударной части молота; H – высота падения ударной части молота; S_n – полный отказ сваи и шаблона штампа.

Все остальные обозначения параметров, принятые в формулах (3) и (4), соответствуют обозначениям, принятым в работах [38,39]. Формула (4) в отличие от существующих формул, представленных в работах [35-37] позволяет производить расчет полной энергии удара молота с учетом расхода топлива в его камере сгорания и всех других влияющих факторов.

Работа силы упругого динамического отпора грунта по подъему соударяющихся элементов $A_{оэ}$ определяется по формуле (5)

$$A_{оэ} = (Q_m + q_{shm} + q_n + q_{an} + q_{sh} + q_{auv} + q_c + F_{mt})S_u = (Q + F_{mt})S_u, \tag{5}$$

$$F_{mt} = \mu Q_m\ , \tag{6}$$

где: Q_m – вес молота; q_{shm} – вес шабота; q_n – вес наголовника; q_{an} – вес амортизатора в наголовнике; q_{sh} – вес шаблона штампа; q_{auv} – вес амортизатора в упорном выступе шаблона; q_c – вес сваи; F_{mt} – сила трения между элементами корпуса молота и направляющей стрелы копровой установки; S_u – упругий отказ сваи и шаблона штампа; μ – коэффициент трения; Q – суммарный вес элементов системы.

Работа силы упругого динамического отпора грунта по обеспечению подскока ударной части молота A_{op} устанавливается по следующей формуле:

$$A_{op} = Gh\ , \tag{7}$$

где: h – высота подскока ударной части молота.

Энергия удара молота, которая затрачивается на упругое сжатие ударяющихся элементов системы $E_{sэ}$, определяется по формуле:

$$E_{sэ} = (P_{shm}^{d}\Delta_{shm}^{d} + P_{n}^{d}\Delta_{n}^{d} + P_{an}^{d}\Delta_{an}^{d} + P_{csh}^{d}\Delta_{csh}^{d} + P_{auv}^{d}\Delta_{auv}^{d} + P_{c}^{d}\Delta_{c}^{d}), \quad (8)$$

где: P_{shm}^{d}, P_{n}^{d}, P_{an}^{d}, P_{csh}^{d}, P_{auv}^{d} и P_{c}^{d} – динамическая нагрузка на шабот молота, наголовник, амортизатор в нем, стойку шаблона штампа, амортизатор в упорном выступе шаблона и сваю; Δ_{shm}^{d}, Δ_{n}^{d}, Δ_{an}^{d}, Δ_{csh}^{d}, Δ_{auv}^{d} и Δ_{c}^{d} – динамическая деформация шабота молота, днища наголовника, амортизатора в нем, стойки шаблона штампа, амортизатора в упорном выступе шаблона и сваи.

Энергия удара молота, которая затрачивается на перемещение соударяющихся элементов системы, $E_{pэ}$ устанавливается по формуле:

$$E_{pэ} = (Q_m + q_{shm} + q_n + q_{an} + q_{sh} + q_{auv} + q_c + F_{mt})S_n = (Q + F_{mt})S_n, \quad (9)$$

Энергия удара молота, затрачиваемая по преодоление динамического сопротивления грунта, E_{dg} определяется по формуле:

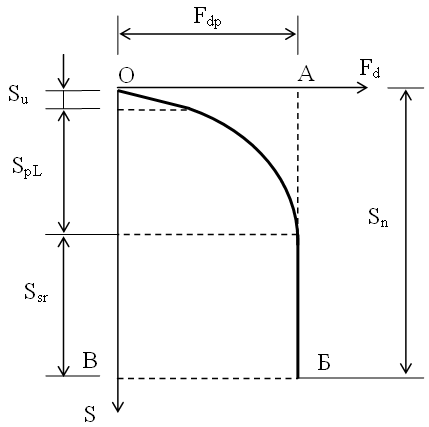
$$E_{dg} = A_{dg} = k_p F_d S_n, \quad (10)$$

где: A_{dg} – работа молота по преодолению силы динамического сопротивления грунта F_d; k_p – коэффициент, определяющий долю работы A_{dg} от идеализированной работы, равной произведения $F_d S_n$ (рис. 2).

Коэффициент k_p в формуле (10) теоретически может иметь значения от 0,5 до 1,0. При значениях коэффициента k_p = 0,5 при ударе молота будет проявляться только упругое сопротивление грунта, а при значении коэффициента k_p = 1,0 (и близких к 1,0) – вязкопластическое сопротивление глинистого грунта или пластическое сопротивление песчаного грунта с достижением их предельных состояний. При промежуточных значениях коэффициента k_p будет иметь место упруго-вязкопластическое сопротивление глинистого грунта или упругопластическое сопротивление песчаного грунта.

Как видно, данный коэффициент является показателем, отражающим характер деформирования грунта при погружении сваи и шаблона штампа, и по величине которого можно судить о достижении или же не достижении грунтом предельного состояния (проявлении или же непроявлении предельного сопротивления грунта). Следовательно, от этого параметра зависит достоверность определения энергии удара молота E_{dg} по формуле (10).

Значения коэффициента k_p можно назначать на основе графика зависимости $F_d = f(S)$ в виде отношения площади фигуры ОБВ к площади прямоугольника ОАБВ (см. рис. 2).



F_{dp} - динамическое предельное сопротивление грунта; S_n – полное перемещение (отказ) сваи и шаблона штампа; S_u – упругое перемещение; S_{pL} – вязкопластическое перемещение; S_{sr} – пластическое перемещение (деформация «срыва»).

Рис. 2. Изменение силы динамического сопротивления грунта F_d по мере увеличения перемещения сваи S при ударе молота

К сожалению, график зависимости $F_d = f(S)$ можно построить лишь на основе результатов испытаний тензометрических свай, что сложно реализуемо технически. Поэтому определять значения коэффициента на основе указанного графика не всегда возможно. Сопротивление сваи и шаблона штампа при ударе молота будет всегда больше, чем сопротивление самой отдельной сваи, поэтому можно вполне допускать, что в глинистом грунте, в основном, будет проявляться упруго-вязкопластическое сопротивление, а в песчаном грунте - упругопластическое сопротивление, без проявления деформаций «срыва». Исходя из этого, коэффициент k_p в формуле (10) следует ориентировочно принимать в пределах от 0,6 до 0,8.

Учитывая формулы (5)–(7), (9) и (10) уравнения (1) и (2) можно представить в виде:

$$E_d - [(Q + \mu Q_m)S_u + Gh] = E_{sэ} + (Q + \mu Q_m)S_n + k_p F_d S_n \,, \qquad (11)$$

$$E_d - (Q + \mu Q_m)S_u = E_{sэ} + (Q + \mu Q_m)S_n + k_p F_d S_n, \qquad (12)$$

Из представленных уравнений можно получить следующие формулы по определению динамического сопротивления грунта, внедрению шаблона штампа и сваи, при ударе:

$$F_d = \{E_d - [(Q + \mu Q_m) \cdot (S_u + S_n)] - (Gh + E_{sэ})\}/k_p S_n, \qquad (13)$$

$$F_d = \{E_d - [(Q + \mu Q_m) \cdot (S_u + S_n)] - E_{sэ}\}/k_p S_n, \qquad (14)$$

Определение статического сопротивления сваи и ростверка, устроенного в выштампованном котловане. Для определения вязкого сопротивления грунта, предположим, что закономерности его изменения при

забивке штампа, аналогичны тем, которые имеют место при забивке сваи. Это обусловлено тем, что особенности вязкого сопротивления грунта при погружении штампа ударами молота на современном этапе еще не изучены и не могут быть представлены в виде конкретных закономерностей.

Принимаем, что как при забивке сваи, так и при выштамповывании котлована, в грунте проявляются вязкие свойства, которые зависят от скорости перемещения сваи и штампа при ударах молота. Исходя из этого, статическое сопротивление сваи и ростверка F_c можно установить, как разницу между динамическим сопротивлением F_d и вязким сопротивлением F_v грунта по следующей формуле:

$$F_c = F_d - F_v \,, \tag{15}$$

В работах [12,13] Бекбасаровым И.И. представлены уточненные корреляционные зависимости между параметрами вязкого и статического сопротивления грунта. Данные зависимости получены автором на основе детальной обработки результатов экспериментальных исследований, представленных в работах [7,8]. С учетом этих зависимостей формулу по определению вязкого сопротивления грунта F_v можно представить в виде:

$$F_v = [(\mathrm{A}_{osh}\eta_{osh} + \mathrm{A}_{os}\eta_{os}) + (\mathrm{A}_{bsh}\eta_{bsh} + \mathrm{A}_{bs}\eta_{bs})]v \tag{16}$$

где: A_{osh} - площадь подошвы шаблона штампа; η_{osh} - удельное вязкое сопротивление грунта под подошвой шаблона штампа; A_{os} – площадь нижнего конца сваи; η_{os} - удельное вязкое сопротивление грунта под нижним концом сваи; A_{bsh} - площадь боковой поверхности шаблона штампа; η_{bsh} - удельное вязкое сопротивление грунта по боковой поверхности шаблона штампа; A_{bs} – площадь боковой поверхности сваи; η_{bs} – удельное вязкое сопротивление грунта по боковой поверхности сваи.

С учетом формулы (16) формулу (15) можно представить в следующем виде:

$$F_c = F_d - [(\mathrm{A}_{osh}\eta_{osh} + \mathrm{A}_{os}\eta_{os}) + (\mathrm{A}_{bsh}\eta_{bsh} + \mathrm{A}_{bs}\eta_{bs})]v \,, \tag{17}$$

В формуле (17) параметры η_{osh}, η_{os}, η_{bsh} и η_{bs} относятся к единичной скорости перемещения шаблона штампа и сваи от ударов молота. Рассмотрим пути определения этих параметров.

Формулу по определению удельного вязкого сопротивления грунта η_{os} под нижним концом сваи можно записать в виде следующего выражения [13]:

$$\eta_{os} = \mathrm{y}(r_{os}^{s})^2 - \mathrm{j}r_{os}^{s}, \tag{18}$$

где: y и j – коэффициенты, соответственно равные: 0,001 сек/кН·м; 0,0102 сек/м; r_{os}^{s} – удельное статическое сопротивление грунта под нижним концом сваи.

В формуле (18) удельное статическое сопротивление грунта r_{os}^{s} можно принимать равным расчетному сопротивлению грунта под нижним концом сваи, которое определяется в соответствии с требованиями свода правил [32] или по формулам, представленным в работе [47].

Допуская, что зависимость (18) подобна и для грунта, залегающего под подошвой шаблона штампа, для определения удельного вязкого сопротивления η_{osh} можно записать следующую формулу:

$$\eta_{osh} = \mathrm{y}(r_{osh}^{s})^{2} - \mathrm{j}r_{osh}^{s}, \tag{19}$$

где: r_{osh}^{s} – удельное статическое сопротивление грунта под подошвой шаблона штампа.

В формуле (19) удельное статическое сопротивление грунта r_{osh}^{s} под подошвой шаблона штампа можно принимать равным расчетному сопротивлению уплотненного грунта основания в соответствии с требованиями свода правил [48].

Удельное вязкое сопротивление грунта η_{bs} по боковой поверхности сваи можно определять по следующей формуле [13]:

$$\eta_{bs} = w(r_{bs}^{s})^{3} - q(r_{bs}^{s})^{2} + br_{bs}^{s}, \tag{20}$$

где: w, q и b – коэффициенты, соответственно равные: 6,0×10^{-6} сек/кН; 0,001138 сек/кН·м; 2,438 сек/м; r_{bs}^{s} – удельное статическое сопротивление грунта по боковой поверхности сваи.

В формуле (20) удельное статическое сопротивление грунта r_{bs}^{s} рекомендуется устанавливать по следующей формуле:

$$r_{bs}^{s} = (\textstyle\sum_{i=0}^{n} f_i)/n \tag{21}$$

где: n – количество слоев грунтовой толщи, залегающих в пределах глубины L_{ns}; L_{ns} – глубина расположения нижнего конца сваи от поверхности выштамповывания котлована; f_i – расчетное сопротивление грунта i – того слоя, залегающего вдоль боковой поверхности шаблона штампа и сваи (в пределах глубины L_{ns}), определяемое в соответствии с требованиями свода правил [32] или по формулам, представленным в работе [47].

Допуская, что зависимость (21) подобна и для грунта, залегающего по боковой поверхности шаблона штампа, для определения удельного сопротивления η_{bsh} можно записать следующую формулу:

$$\eta_{bsh} = w(r_{bsh}^{s})^{3} - q(r_{bsh}^{s})^{2} + br_{bsh}^{s}, \tag{22}$$

где: $r_{bs\mathrm{p}}^{s}$ – удельное статическое сопротивление грунта по боковой поверхности шаблона штампа.

В формуле (21) удельное статическое сопротивление грунта $r_{bs\mathrm{p}}^{s}$ по боковой поверхности шаблона штампа рекомендуется принимать равным сопротивлению грунта по боковой поверхности, определяемому в соответствии с требованиями свода правил [32] как для забивной пирамидальной сваи.

Скорость перемещения шаблона штампа и сваи v при ударе молота в формуле (17) предлагается определять по следующей формуле:

$$v = S_n/t_u\ , \tag{23}$$

где: t_u – продолжительность перемещения шаблона штампа и сваи при ударе молота, сек.

Продолжительность перемещения сваи при ударе молота t_u устанавливается путем ее измерения в процессе проведения динамических испытаний. При наличии технической возможности целесообразно устанавливать скорость перемещения шаблона штампа и сваи v без измерения временного параметра t_u.

Определение динамических параметров, характеризующих процесс удара молота по шаблону штампа и свае.

Динамические параметры ударяющихся элементов системы «молот-шаблон штампа-свая-грунт», входящие в состав формулы (8) можно определять через их соответствующие статические параметры. Такой подход используется в теории удара двух твердых тел [49]. В этом случае нагрузки, напряжения и деформации при ударе, устанавливаются в виде произведения их статических величин и значений коэффициента динамичности. Учитывая данное обстоятельство, применительно к рассматриваемой системе, можно предложить формулы (24)–(29) по определению динамических нагрузок, имеющих место при ударе:

$$P_{shm}^{d} = k_{shm}^{p} P_{shm}^{c} = k_{shm}^{p}(G + Q_m), \quad (24)$$

$$P_{n}^{d} = k_{n}^{p} P_{n}^{c} = k_{n}^{p}(G + Q_m + q_{shm}) , \quad (25)$$

$$P_{an}^{d} = k_{an}^{p} P_{an}^{c} = k_{an}^{p}(G + Q_m + q_{shm} + q_n) , \quad (26)$$

$$P_{csh}^{d} = k_{csh}^{p} P_{csh}^{c} = k_{csh}^{p}(G + Q_m + q_{shm} + q_n + q_{an}), \quad (27)$$

$$P_{auv}^{d} = k_{auv}^{p} P_{auv}^{c} = k_{auv}^{p}(G + Q_m + q_{shm} + q_n + q_{an} + q_{sh}) , \quad (28)$$

$$P_{c}^{d} = k_{c}^{p} P_{c}^{c} = k_{c}^{p}(G + Q_m + q_{shm} + q_n + q_{an} + q_{sh} + q_{auv}) , \quad (29)$$

где: P_{shm}^{c}, P_{n}^{c}, P_{an}^{c}, P_{csh}^{c}, P_{auv}^{c} и P_{c}^{c} – статическая нагрузка на шабот молота, наголовник, амортизатор в нем, стойку шаблона штампа, амортизатор в упорном выступе шаблона и сваю; k_{shm}^{p}, k_{n}^{p}, k_{an}^{p}, k_{csh}^{p}, k_{auv}^{p} и k_{c}^{p} – коэффициент динамичности по нагрузке для шабота молота, наголовника, амортизатора в нем, стойки шаблона штампа, амортизатора в упорном выступе шаблона и сваи.

Аналогично можно записать формулы для определения динамических упругих деформаций ударяющихся элементов системы

$$\Delta_{shm}^{d} = k_{shm}^{\Delta} \Delta_{shm}^{c} = k_{shm}^{\Delta}[(P_{shm}^{c} t_{shm})/A_{shm} E_{shm}^{c}], \quad (30)$$

$$\Delta_{n}^{d} = k_{n}^{\Delta} \Delta_{n}^{c} = k_{n}^{\Delta}[(P_{n}^{c} t_{n})/A_{n} E_{n}^{c}], \quad (31)$$

$$\Delta_{an}^{d} = k_{an}^{\Delta} \Delta_{an}^{c} = k_{an}^{\Delta}[(P_{an}^{c} t_{an})/A_{an} E_{an}^{c}], \quad (32)$$

$$\Delta_{csh}^{d} = k_{csh}^{\Delta} \Delta_{csh}^{c} = k_{csh}^{\Delta}[(P_{csh}^{c} h_{csh})/A_{csh} E_{csh}^{c}], \quad (33)$$

$$\Delta_{auv}^{d} = k_{auv}^{\Delta} \Delta_{auv}^{c} = k_{auv}^{\Delta}[(P_{auv}^{c} t_{auv})/A_{auv} E_{auv}^{c}], \quad (34)$$

$$\Delta_c^d = k_c^\Delta \Delta_c^c = k_c^\Delta [(P_c^c L_c)/A_{os} E_c^c\ ], \quad (35)$$

где: Δ_{shm}^c, Δ_n^c, Δ_{an}^c, Δ_{csh}^c, Δ_{auv}^c и Δ_c^c – статическая упругая деформация шабота молота, днища наголовника, амортизатора в нем, стойки шаблона штампа, амортизатора в упорном выступе шаблона и сваи; k_{shm}^Δ, k_n^Δ, k_{an}^Δ, k_{csh}^Δ, k_{auv}^Δ и k_c^Δ – коэффициент динамичности по деформации для шабота молота, наголовника, амортизатора в нем, стойки шаблона штампа, амортизатора в упорном выступе шаблона и сваи; A_{shm}, A_n, A_{an}, A_{csh}, A_{auv} и A_{os} – площадь сечения ударяющихся элементов; t_{shm}, t_n, t_{an}, h_{csh}, t_{auv} и L_c – толщина шабота, днища наголовника, амортизатора в нем, высота стойки шаблона штампа, толщина амортизатора в упорном выступе шаблона и длина сваи; E_{shm}^c, E_n^c, E_{an}^c, E_{csh}^c, E_{auv}^c и E_c^c – статический модуль упругости материалов ударяющихся элементов.

Определение коэффициентов динамичности. Рассмотрим пути определения коэффициентов динамичности, входящих в состав формул (24)–(35). В настоящее время существует ряд формул, предназначенных для расчета коэффициентов динамичности. Ниже приведен их краткий анализ.

Соляник-Красса К.В. в работе [50] излагает основные положения приближенной теории удара твердого тела по неподвижному телу. Рассматривается упругий удар, при котором процесс деформирования ударяемого тела подчиняется закону Гука, и статический модуль упругости равен динамическому. Динамическое напряжение $\sigma_д$ и динамическую упругую деформацию $\delta_д$ ударяемого тела предлагается устанавливать соответственно по формулам (36) и (37), а коэффициент динамичности k – по формуле (38).

$$\sigma_д = k\sigma_{ст}, \quad (36)$$

$$\delta_д = k\delta_{ст}, \quad (37)$$

$$k = 1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{\delta_{ст}}\right)\left\{\left[1 + \left(\frac{1}{3}\right)\chi\right] / [1 + \left(\frac{1}{2}\right)\chi]^2\right\}}, \quad (38)$$

$$\chi = Q/P, \quad (39)$$

где: h – высота падения ударяющего тела; Q – вес ударяемого тела; P – вес ударяющего тела.

Снитко Н.К. в работе [51] для определения амплитуды колебания сваи при забивке по формуле (40), коэффициент динамичности $\mu_{дин}$, именуемый динамическим коэффициентом, рекомендует устанавливать по формуле (41).

$$A = \Delta_{ст}\mu_{дин}\ , \quad (40)$$

$$\mu_{дин} = \left\{1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{\Delta_{ст}}\right) \cdot \left[\frac{M}{(M + m_{пр})}\right]}\right\}, \quad (41)$$

где: A – амплитуда колебания сваи при ударе молота по свае; h – высота падения молота; M – масса молота; $m_{пр}$ – приведенная масса сваи; $\Delta_{ст}$ – статическое перемещение сваи от веса молота.

Формула (41) выведена автором на основе положений теории жесткого удара по приведенной массе сваи, которая предварительно получена из частного уравнения собственных продольных колебаний сваи.

В работе [52] коэффициент динамичности k_d при ударе груза по неподвижному стержню предложено рассчитывать по формуле (42). При этом деформации стержня и напряжения в нем при ударе груза определяются соответственно по формулам (43) и (44).

$$k_d = [1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{\Delta l_{st}}\right)}], \tag{42}$$

$$\Delta l_d = k_d \Delta l_{st} \ , \tag{43}$$

$$\sigma_d = k_d \sigma_{st} \ , \tag{44}$$

где: Δl_d – динамическая упругая деформация стержня при ударе груза; Δl_{st} – статическая упругая деформация стержня от веса груза; σ_d – динамическое напряжение в стержне при ударе груза; σ_{st} – статическое напряжение в стрежне от веса груза.

Формула (42) получена на основе закона сохранения механической энергии, а также с учетом ряда допущений, в том числе, таких как отсутствие отскока груза от стержня после удара и деформирование стержня при ударе в соответствии с законом Гука.

Манжосов В.К. в работе [53] для определения коэффициента динамичности предлагает использовать формулу, аналогичную формуле (41). При выполнении условия, когда отношение $2h/\Delta_{\text{ст}}$ больше 10^4 автор рекомендует применять упрощенный вариант формулы (42) в виде формулы (45).

Формула (44) приемлема для условий удара твердого тела по стержню без учета распределенных инерционных сил. При этом, ударная нагрузка, приходящая на стержень и динамическое напряжение в нем при ударе устанавливаются соответственно по формулам (46) и (47).

$$k_{\text{д}} = \sqrt{\left(\frac{2h}{\Delta_{\text{ст}}}\right)}, \tag{45}$$

$$P_{\text{д}} = k_{\text{д}} \text{P}_{\text{ст}} \ , \tag{46}$$

$$\sigma_{\text{д}} = k_{\text{д}} \sigma_{\text{ст}} \ , \tag{47}$$

где: $P_{\text{д}}$ – ударная нагрузка на стержень; $\text{P}_{\text{ст}}$ – статическая нагрузка на стержень от веса ударяющего тела.

При ударе твердого тела по стержню, масса которого условно приведена к массе сосредоточенного тела в точке удара, Манжосов В.К. для расчета коэффициента динамичности рекомендует применять следующую формулу [53]:

$$k_{\text{д}} = 1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{\Delta_{\text{ст}}(1+\frac{m_n}{M})}\right)}, \tag{48}$$

где: m_n – приведенная масса стержня; M – масса ударяющего тела.

Анализ теоретических основ представленных формул позволяет выявить их следующие особенности:

- рассматривается удар двух упругих тел, без учета подскока ударяющего тела после удара;
- процесс динамического деформирования материала ударяемого тела подчиняется закону Гука;
- статический модуль упругости материала ударяемого тела принимается равным его динамическому модулю упругости;
- коэффициент динамичности всегда больше 1,0, и его значение постоянно, как для ударной нагрузки, так и для динамических напряжений и деформаций ударяемого тела;
- ударная нагрузка, динамические напряжения и деформации ударяемого тела больше, чем его соответствующие статические параметры.

Перечисленное свидетельствует о том, что формулы (38), (41), (42), (45) и (48) не в полной мере учитывают особенности процесса ударного взаимодействия элементов системы «молот-шаблон штампа-свая-грунт» и поэтому не могут быть использованы для определения коэффициентов динамичности, входящих в состав формул (24)–(35). Дополнительно к этому следует добавить, что коэффициенты динамичности, при выводе существующих формул, специалистами устанавливались в виде условной совокупности нескольких параметров, принимаемой с целью упрощения математических действий. Поэтому из-за такого некорректного подхода содержание некоторых формул противоречит физическим представлениям об ударном процессе. Так, например если рассматривать формулу (46) во взаимосвязи с формулой (45), то, видно, что ударная нагрузка, прикладываемая к стержню, зависит от статической деформации стержня, которая имеет место при приложении к ней статической нагрузки (от веса ударяющего тела). Физически такая зависимость не реальна, так как величина ударной нагрузки (перед ударом) может зависеть только от массы ударяющего тела и скорости его движения (ускорения). Если при определении ударной нагрузки по формуле (46), коэффициент динамичности устанавливать по формуле (48), то видно, что величина ударной нагрузки (перед ударом), кроме статической деформации стержня, зависит также от ее приведенной массы, что тоже физически неприемлемо.

Другим парадоксальным фактом является следующее обстоятельство. Так, из формулы (43), при определении коэффициента динамичности соответственно по формуле (42), следует, что динамическая деформация стержня больше ее статической деформации (от веса ударяющего груза). Аналогичное имеет место и при соответствующем использовании формул (37) и (38). Если рассматривать стержни, изготовляемые из бетона, то данный факт противоречит результатам исследований Баженова Ю.М. [52], которые свидетельствуют о том, что при динамическом нагружении, деформации бетона всегда меньше, чем его статические деформации.

Исходя из изложенных доводов, нами предложен иной подход к определению коэффициента динамичности. Сущность этого подхода состоит в том, что данный коэффициент, устанавливается в виде отношения динамического параметра к статическому параметру, что соответствует его предназначению. При этом, предварительно принимаем, что характер зависимости $\sigma = f(\varepsilon)$ (где: σ – сжимающее напряжение; ε – относительная деформация сжатия) как при ударе, так и при статическом приложении

нагрузки (в упругой стадии работы материала) не изменяется, а различия состоят только в значениях σ и ε. Эти количественные отличия определяются разностью модулей упругости материалов тел при статическом и динамическом воздействиях. Такие особенности напряженно-деформированного состояния характерны для бетона (рис. 3) [54].

Принятые постулаты, с большой степенью вероятности, можно распространять и на другие ударяющиеся элементы системы «молот-шаблон штампа-свая-грунт», которые изготовляются из небетонных материалов (стали, древесины, резины и др.).

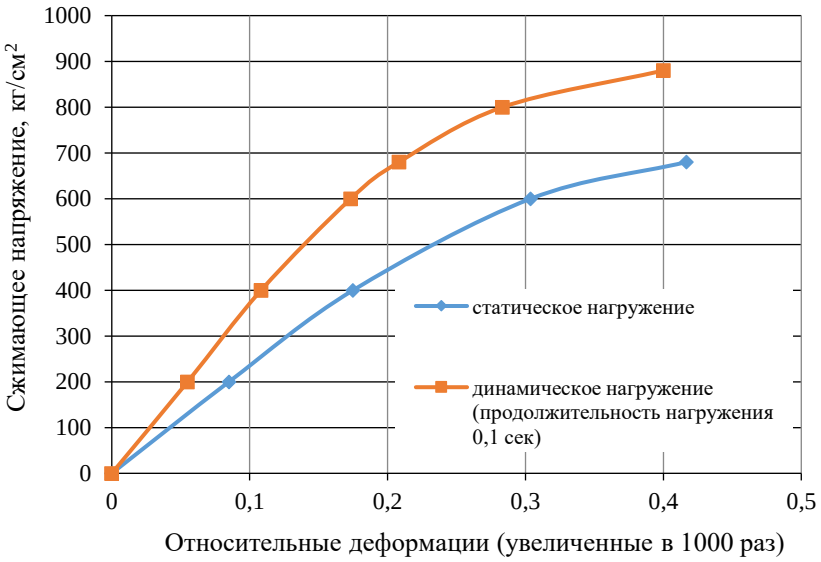


Рис. 3. Зависимость сжимающих напряжений от относительных деформаций бетона [54]

Таким образом, формулу по определению коэффициента динамичности по нагрузке k^p можно представить в виде следующего отношения:

$$k^p = \frac{P^d}{P^c} = \frac{\sigma^d A^d}{\sigma^c A^c} = \frac{E^d \varepsilon^d A^d}{E^c \varepsilon^c A^c}, \quad (49)$$

где: P^d – ударная нагрузка; P^c– статическая нагрузка; σ^d – динамическое напряжение; σ^c – статическое напряжение; A^d – площадь передачи ударной нагрузки; A^c – площадь передачи статической нагрузки; E^d – динамический модуль упругости; E^c – статический модуль упругости; ε^d – относительная динамическая деформация; ε^c - относительная статическая деформация.

Как известно, традиционно, в научных исследованиях, оценка эффекта от действия одного фактора (на изучаемый элемент) осуществляется при условии постоянства других влияющих факторов. Использование этого научного принципа, позволяет эффект превышения ударной нагрузки над статической нагрузкой оценивать при выполнении равенств: $A^d = A^c$ и $\varepsilon^d = \varepsilon^c$. С учетом этого формула (48) может быть окончательно представлена в виде:

$$k^p = \frac{E^d}{E^c}, \quad (50)$$

Таким образом, эффект превышения ударной нагрузки над статической нагрузкой при одинаковых всех других влияющих факторах, соответствует эффекту превышения динамического модуля упругости над статическим модулем. Именно этим можно объяснить различие в значениях параметров σ и ε бетона при его статическом и динамическом нагружениях (см. рис. 3).

Пользуясь вышеуказанным принципом, при условии $A^d = A^c$, можно установить, что коэффициент динамичности по напряжению равен коэффициенту динамичности по нагрузке.

$$k^\sigma = \frac{\sigma^d}{\sigma^c} = \frac{P^d A^c}{P^c A^d} = \frac{P^d}{P^c} = k^{\text{p}}, \tag{51}$$

Формулу по определению коэффициента динамичности по деформации Δ^p можно представить в следующем виде:

$$k^\Delta = \frac{\Delta^d}{\Delta^c} = \frac{\sigma^d l^d E^c}{\sigma^c l^c E^d}, \tag{52}$$

где: Δ^d – динамическая деформация; Δ^c – статическая деформация; l^d – толщина элемента при ударе; l^c – толщина элемента при статической нагрузке.

Эффект превышения динамической деформации над статической деформацией оценивается при соблюдении равенств $\sigma^d = \sigma^c$ и $l^d = l^c$. При этом формула (52) может быть окончательно преобразована в следующее выражение:

$$k^\Delta = \frac{E^c}{E^d} = 1/k^p, \tag{53}$$

Из формул (50) и (51) следует, что коэффициенты динамичности по нагрузке и по напряжению больше 1,0, а из формулы (53) следует, что коэффициент динамичности по деформациям наоборот меньше 1,0. Для количественной проверки этих положений применительно к бетону выполнены соответствующие вычисления на основе экспериментальных данных, представленных в работе [54] (см. рис. 3). Результаты расчетов приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Значения относительных деформаций бетона и коэффициента динамичности по деформации k^Δ

Напряжение в бетоне, кг/см^2 ($\sigma^d = \sigma^c$)	Относительная деформация		Коэффициент динамичности по деформации k^Δ
	динамическая, ε^d	статическая, ε^c	
200	0,0550	0,0850	0,667
400	0,1083	0,175	0,619
600	0,1733	0,3083	0,562
667	0,2083	0,4167	0,499
800	0,2833	-	-
867	0,4000	-	-

Таблица 3

Значения напряжений в бетоне и коэффициента динамичности по напряжению k^{σ}

Уровень относительных деформаций бетона ($\varepsilon^d = \varepsilon^c$)	Напряжение в бетоне, кг/см^2,		Коэффициент динамичности по напряжению k^{σ}
	динамическое, σ^d	статическое, σ^c	
0,1	400,00	266,67	1,499
0,2	683,33	483,33	1,414
0,3	816,67	616,67	1,324
0,4	866,67	666,67	1,299

Из таблиц видно, что значения коэффициента динамичности по деформации меньше 1,0 и составляют 0,499-0,667, а значения коэффициента динамичности по напряжению, больше 1,0 и составляют 1,299-1,499. Эти данные распространяются на линейные и нелинейные участки графиков, представленных на рисунке 3. Для линейных участков графиков (характеризующих упругую работу бетона) значения коэффициента динамичности по деформации равны 0,619-0,667, а значения коэффициента динамичности по напряжению – 1,414-1,499.

Как видно, приведенные результаты подтверждают наши утверждения. Следовательно, при ударе, нагрузка и напряжение, будут больше соответствующей статической нагрузки и статического напряжения, а динамическая деформация будет меньше соответствующей статической деформации. В связи с этим важно отметить, что формулы (38) и (43) позволяют получать результаты, которые противоречат результатам экспериментальных исследований [54] и формуле (53).

Определение модулей упругости. Для определения коэффициентов динамичности по формулам (50) и (53) необходимы значения модулей упругости (материалов) элементов системы «молот-шаблон штампа-свая-грунт». Значения модулей упругости материалов, как правило, приведены в справочных пособиях и нормативных документах. Динамические модули упругости амортизаторов, используемых в наголовниках сваебойных молотов, представлены в Руководстве [55]. Для удобства определения этих параметров предлагаем использовать формулы (54) и (55), которые получены нами путем обработки данных, представленных в Руководстве [55] (рис. 4-11).

$$E_a^d = r\sigma_c^d + t, \tag{54}$$

$$E_a^d = zln(\sigma_c^d) + \varepsilon, \tag{55}$$

где: E_a^d – модуль упругости амортизатора (в наголовнике молота или в упорном выступе шаблона штампа); σ_c^d – динамическое сжимающее напряжение в головной части сваи при ударе молота; r и t – коэффициенты, принимаемые по таблице 4; z и ε – коэффициенты, принимаемые по таблице 5.

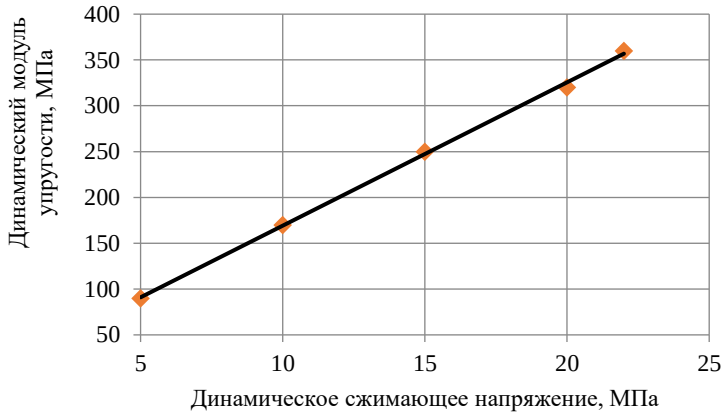


Рис. 4. Зависимость динамического модуля упругости амортизатора из сосны (при любом расположении волокон относительно сжатия) от динамического сжимающего напряжения (при значении коэффициента уплотнения амортизатора 0,4)

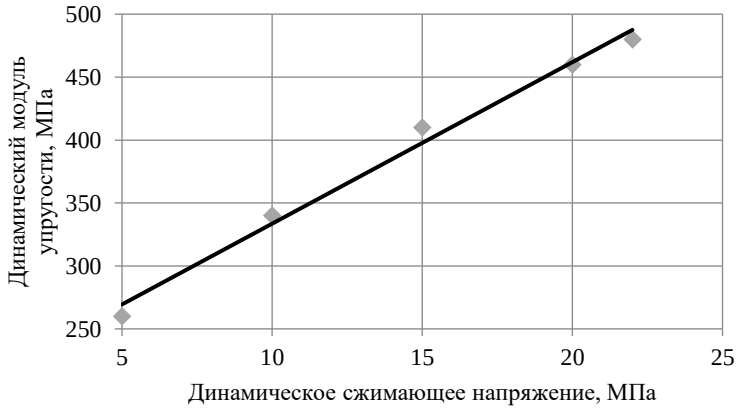


Рис. 5. Зависимость динамического модуля упругости амортизатора из дуба (при перпендикулярном расположении волокон относительно сжатия) от динамического сжимающего напряжения (при значении коэффициента уплотнения амортизатора 0,6)

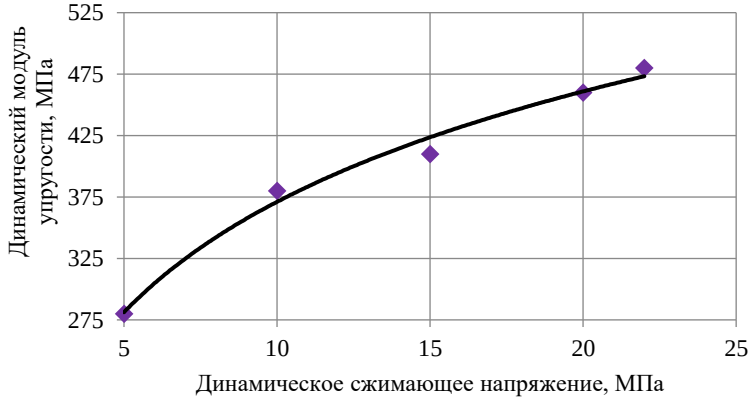


Рис. 6. Зависимость динамического модуля упругости амортизатора из березовой фанеры от динамического сжимающего напряжения (при значении коэффициента уплотнения амортизатора 0,7)

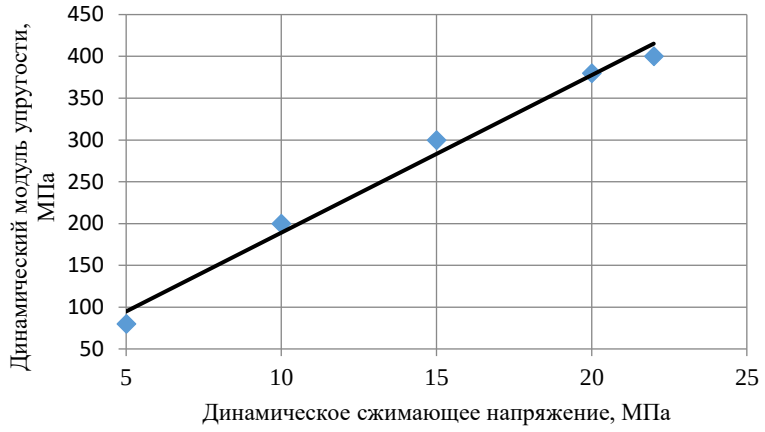


Рис. 7. Зависимость динамического модуля упругости амортизатора из грубошерстного технического войлока от динамического сжимающего напряжения (при значении коэффициента уплотнения амортизатора 0,4)

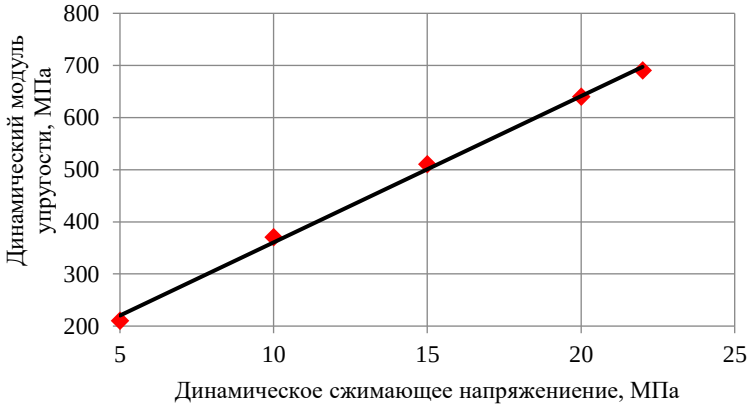


Рис. 8. Зависимость динамического модуля упругости амортизатора из бельного пенкового каната от динамического сжимающего напряжения (при значении коэффициента уплотнения амортизатора 0,45)

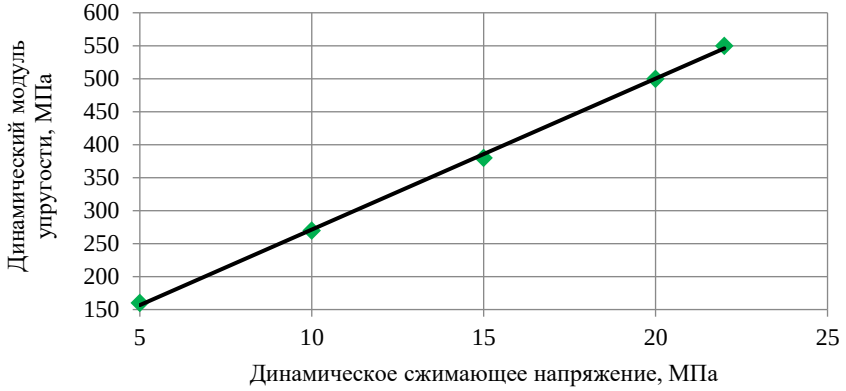


Рис. 9. Зависимость динамического модуля упругости амортизатора из шнурового асбеста от динамического сжимающего напряжения (при значении коэффициента уплотнения амортизатора 0,30)

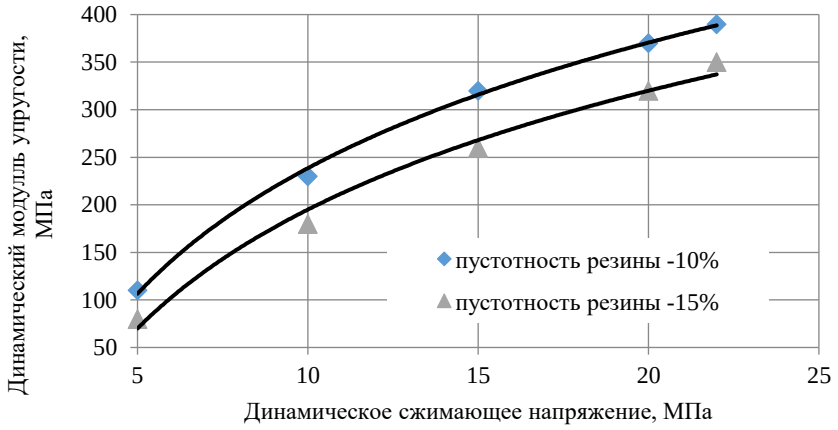


Рис. 10. Зависимость динамического модуля упругости амортизатора из теплостойкой технической резины (с пустотностью 10 и 15%) от динамического сжимающего напряжения (при значении коэффициента уплотнения амортизатора 1,0)

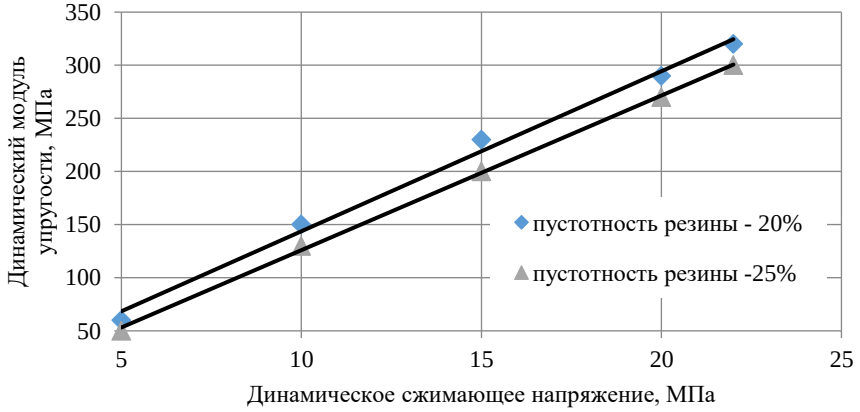


Рис. 11. Зависимость динамического модуля упругости амортизатора из теплостойкой технической резины (с пустотностью 20 и 25%) от динамического сжимающего напряжения (при значении коэффициента уплотнения амортизатора 1,0)

Таблица 4

Значения коэффициентов r и t в формуле (54)

Вид материала амортизатора	Коэффициент уплотнения амортизатора	Значения коэффициентов		Показатель достоверности аппроксимации R^2
		r	t, МПа	
1	2	3	4	6
Сосна (при любом расположении волокон относительно направления сжатия)	0,40	15,639	12,799	0,9990
Дуб (при перпендикулярном расположении волокон относительно направления сжатия)	0,60	12,83	205,25	0,9896

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5
Грубошерстный технический войлок	0,40	18,844	0,6491	0,9879
Бельный пенковый канат	0,45	28,053	80,041	0,9979
Шнуровой асбест	0,30	22,901	42,231	0,9994
Теплостойкая техническая резина с пустотностью:				
- 20 %;	1,0	15,060	- 6,8763	0,9940
- 25%.	1,0	14,554	-19,574	0,9993

Таблица 5

Значения коэффициентов z и ε в формуле (55)

Вид материала амортизатора	Коэффициент уплотнения амортизатора	Значения коэффициентов		Показатель достоверности аппроксимации R^2
		z	ε , МПа	
Березовая фанера	0,70	129,630	72,552	0,9874
Теплостойкая техническая резина с пустотностью:				
- 10 %;	1,0	190,430	-199,960	0,9980
- 15%.	1,0	180,300	- 220,220	0,9885

Шабот молота, наголовник сваи и шаблон штампа изготовляются из стальных элементов. Статический модуль упругости стали зависит от его структуры, химического состава и температуры. Значения модуля упругости сталей составляют 1,65-3,40×10^5 МПа. Значения модулей упругости арматурной стали, используемой для изготовления свай, приведены в таблице 6. Динамический модуль стали на 2-5% выше его статического модуля упругости из-за отсутствия ползучести при кратковременно действующей нагрузке. Поэтому допускается значения динамического модуля упругости стали принимать равным значению его статического модуля упругости, умноженному на коэффициент 1,02-1,05.

Таблица 6

Значения статического модуля упругости арматуры сваи

Вид арматуры сваи	Класс арматуры	Значения модуля упругости, МПа
Стержневая	А-I, А-2	210000
	А-III, А-IV	200000
	А-V, $A_т$- IV, $A_т$-V и $A_т$-VI	190000
Арматурная проволока	В-1, В-II и $В_р$-II	200000
	$В_р$-I	170000
Арматурные канаты	К-7	180000

Для определения коэффициентов динамичности для сваи необходимы значения модуля упругости железобетона. К сожалению, в настоящее время в научно-технической литературе отсутствуют данные об этом параметре, а

также не существуют аналитические методы его определения. Поэтому динамический модуль упругости железобетона $E_{\text{жб}}^{d}$ предлагается устанавливать в виде осредненного параметра (по площади сечений арматуры и бетона сваи) по следующей формуле:

$$E_{\text{жб}}^{d} = \left(E_{\text{б}}^{d}\text{A}_{\text{б}} + E_{\text{ar}}^{d}\text{A}_{ar}\right)/(\text{A}_{\text{б}} + \text{A}_{ar}) \ , \tag{56}$$

где: $E_{\text{б}}^{d}$ - динамический модуль упругости бетона сваи; $\text{A}_{\text{б}}$ - площадь сечения бетона сваи; E_{ar}^{d} - динамический модуль упругости арматуры сваи; A_{ar} - площадь сечений продольных арматурных стержней сваи.

Наряду с формулой (56) динамический модуль упругости железобетона можно определять в виде приведенного параметра (посредством учета доли армирования бетона) по формуле (57), представленной в работе [56]:

$$\text{E} = E_s\mu + E_d(1-\mu), \tag{57}$$

где: E - приведенный динамический модуль упругости железобетона; E_s - модуль упругости арматуры; μ - доля армирования сечения элемента; E_d – динамический модуль упругости бетона.

Динамический модуль упругости бетона в формулах (56) и (57) зависит от множества факторов, в том числе, и от таких как [54,56,57]:

- вид и состав компонентов;
- технология изготовления;
- условия и сроки твердения;
- плотность и прочностные свойства;
- скорость и продолжительность динамического нагружения;
- уровень динамических напряжений.

Динамический модуль упругости бетона $E_{\text{б}}^{d}$ в зависимости от уровня динамического напряжения σ_c^d в нем можно определять по следующей формуле [58]:

$$E_{\text{б}}^{d} = E_{\text{б}}^{c}/\{1 - 0{,}15\left[\frac{(\sigma_c^d - 40)}{100}\right]\}, \tag{58}$$

Динамический модуль упругости бетона $E_{\text{б}}^{d}$ в зависимости от его призматической прочности $R_{\text{пр}}$ можно определять по следующей формуле [58]:

$$E_{\text{б}}^{d} = E_{\text{б}}^{c}/\{1 - 0{,}001\left[\sigma_c^d - (R_{\text{пр}}/10)\right]\}, \tag{59}$$

Динамический модуль упругости бетона $E_{\text{б}}^{d}$ в зависимости от продолжительности его динамического нагружения τ устанавливается по следующей формуле [54]:

$$E_{\text{б}}^{d} = be^{-\,cln\tau} \ , \tag{60}$$

где: b и c - коэффициенты, принимаемые по таблице 7 (для бетона при водоцементном отношении равном 0,5 и соотношении основных компонентов равном 1:3:5).

Таблица 7

Значения коэффициентов b и c в формуле (60)

Относительная деформация сжатия бетона	Значения коэффициентов	
	b	c
$\varepsilon = 0{,}25\ \varepsilon_{пр}$	27,2	0,018
$\varepsilon = 0{,}50\ \varepsilon_{пр}$	26,3	0,024
$\varepsilon = 0{,}75\ \varepsilon_{пр}$	24,8	0,030
$\varepsilon = \varepsilon_{пр}$	22,1	0,033
Примечание: $\varepsilon_{пр}$ - предельное значение относительной деформации сжатия бетона		

При использовании формулы (60) продолжительность процесса динамического нагружения сваи молотом рекомендуется принимать равным [43]:

- 0,009 ÷ 0,018 сек для трубчатого дизельного молота (с весом ударной части 18 кН);
- 0,08 ÷ 0,17 сек для штангового дизельного молота (с весом ударной части 25 кН).

Для других видов и типов молотов ударного действия продолжительность ударного контакта следует устанавливать либо экспериментально, либо по данным предприятий-производителей молотов.

Кроме формул (57)-(59) существуют и другие формулы, устанавливающие зависимость между статическим и динамическим модулями упругости бетона. Некоторые из них, в том числе и те, которые распространены в зарубежной практике, приведены в таблице 8 [56]. Эти корреляционные зависимости также рекомендуются использовать для приближенного определения динамического модуля упругости бетона.

Таблица 8

Корреляционные зависимости между статическими и динамическими модулями упругости бетона [56]

Корреляционные зависимости	Параметры и (или) условия применения
$E_b = 0{,}83\ E_d$ $E_b = 0{,}823\ E_d$	E_b – статический модуль упругости бетона E_d - динамический модуль упругости бетона
$E_b = 1{,}25\ E_d - 19$	те же параметры
$E_b = E_d - 5864$	те же параметры, при отношении напряжения в бетоне к его прочности равном 0,24, скорости нагружения равном 0,24 МПа/сек и температуре равном 20°С.
$E_b = k\mathrm{E}_d^{1,4}\rho^{-1}$	ρ - плотность бетона k – коэффициент, равный 0,23
$E_d = 26{,}27\mathrm{E}_b^{0,19}$	для высокопрочного бетона (элементы цилиндрической формы)

Заключение. Вышеизложенные результаты исследований позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Существующие формулы, предназначенные для определения сопротивления свай по результатам динамических испытаний, имеют ряд значительных недостатков, к которым относятся неучет характера динамического сопротивления сжатию соударяющихся элементов (кроме грунта) системы «молот-свая-грунт», подмена динамического сопротивления сваи статическим сопротивлением и др.;

2. Действующий порядок проведения динамических испытаний и применяемые формулы, в том числе и те, которые входят в состав нормативных документов РК, не адаптированы к условиям устройства комбинированного свайного фундамента, в котором ростверк, устраивается в котловане, выштампованном в околосвайном грунте;

3. Определен перечень технологических операций и порядок проведения динамических испытаний комбинированного свайного фундамента с применением стального шаблона, обладающего формой и размерами штампа, принятого для выштамповывания котлована;

4. Определены исходные предпосылки, характеризующие особенности взаимодействия элементов системы «молот-шаблон штампа-свая-грунт», при ударе молота, и на их основе составлены уравнения энергетического баланса для двух ударных режимов работы дизельных молотов (без подачи и с подачей топлива в камеру сгорания молота) при динамических испытаниях;

5. На основе решения уравнений энергетического баланса получены формулы по определению динамического сопротивления грунта, внедрению шаблона штампа и сваи, при ударе молота. В состав формул, включен, коэффициент, учитывающий характер деформирования грунта при погружении сваи и шаблона штампа, и по величине которого можно судить о достижении или же недостижении грунтом предельного состояния;

6. Получены формулы по определению динамических нагрузок и динамических деформаций ударяющихся элементов системы «молот-свая-грунт» с использованием коэффициентов динамичности по нагрузке и деформации;

7. Обоснованы и предложены новые формулы по определению коэффициентов динамичности в виде отношения динамических и статических модулей упругости материалов элементов данной системы;

8. Разработаны предложения по определению динамических модулей материала амортизаторов в наголовнике молота и в упорном выступе шаблона штампа, бетона и железобетона сваи, а также стали, из которого изготовляются наголовник, шабот и элементы шаблона штампа;

9. Предложена формула по определению статического сопротивления сваи и свайного ростверка в виде разницы между динамическим и вязким сопротивлением грунта, которая зависит от скорости перемещения сваи при ударе молота.

Список литературы

1. Метс, М. Определение несущей способности свай с помощью статических и динамических испытаний [Текст] / М. Метс, Е. Мусатова // Материалы международной научно-технической конференции / Геотехника Беларуси: наука и практика. – Минск: БНТУ, 2013. – С.178-194.
2. Герсеванов, Н.М. Определение сопротивления свай [Текст] / Н.М. Герсеванов. – М.: Госстройиздат, 1932. – 56 с.
3. Русанов, Г.А. Определение сопротивления свай динамическим методом с учетом упругих деформаций [Текст] / Г.А. Русанов // Научное сообщение НИИ Мосстроя. – М: НИИ Мосстрой, 1958. - Выпуск 12. – 7 с.
4. Тикунов, П.Р. Определение сопротивления свай по данным забивки свай с учетом упругих перемещений грунта и свай [Текст] / П.Р. Тикунов // Сборник НИИОСП / Основания и фундаменты. – М.: Госстройиздат, 1959. - С.42-47.
5. Малиновский, А.Ф. Исследование сопротивления забивных свай и их совместной работы с грунтом по данным испытаний [Текст]: автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / А.Ф. Малиновский. – М: МИСИ, 1969. – 19 с.
6. Ерошенко, В.Н. Свайные фундаменты в пластичномерзлых грунтах [Текст] / В.Н. Ерошенко. – Ленинград: Стройиздат, 1972. – 174 с.
7. Гинзбург, Л.Я. Определение несущей способности свай в суглинках по результатам динамических испытаний [Текст] / Л.Я. Гинзбург // Сборник НИИОСП / Основания, фундаменты и подземные сооружений». – М.: Стройиздат, 1972. - Выпуск № 63. - С.133-136.
8. Бахолдин, Б.В. Исследование сопротивления грунтов при динамических испытаниях свай [Текст] / Б.В. Бахолдин, Л.Я. Гинзбург // Труды НИИОСП им. Н.М. Герсеванова / Свайные фундаменты. – М.: Стройиздат, 1975. – №65. – С. 97-115.
9. Гугнин, А.А. О выборе сваебойного оборудования с учетом грунтовых условий [Текст] / А.А. Гугнин // Межвузовский сборник научных трудов / Основания и фундаменты. – Пермь: ПГУ, 1978. – С.40-45.
10. Бахолдин, Б.В. Методика выбора сваебойного оборудования в зависимости от грунтовых условий [Текст] / Б.В. Бахолдин, А.А. Гугнин // Труды НИИОСП им. Н.М. Герсеванова / Основания, фундаменты и подземные сооружения. – М.: Стройиздат, 1980 – №71. – С. 72-82.
11. Бахолдин, Б.В. Обобщенный метод прогнозирования несущей способности свай по результатам динамических испытаний [Текст] / Б.В. Бахолдин // Труды IV международной конференции по проблемам свайного фундаментостроения. – Пермь: ПГТУ, 1994. – Часть 1. – С. 59-63.
12. Бекбасаров, И.И. О некоторых аспектах теоретического совершенствования динамического метода определения сопротивления свай [Текст] / И.И. Бекбасаров // Материалы Всероссийской национальной конференции с международным участием / Фундаменты глубокого заложения и геотехнические проблемы территорий. – Пермь: Издательство ПНИПУ, 2017. – С.362-372.
13. Бекбасаров, И.И. О теоретическом совершенствовании метода определения сопротивления свай по результатам их динамических испытаний [Текст] / И.И. Бекбасаров // Научно - практический журнал / Строительство и архитектура. – М.: ООО «Издательский центр РИОР», 2017. – Том 5. - Выпуск 2(15). С.32-41.
14. Чернышев, Ю.Г. О коэффициенте восстановления при забивке свай [Текст] / Ю.Г. Чернышев // Известия ВУЗов / Строительство и архитектура. - Новосибирск, 1972. № 7. - С. 148-151.
15. Чернышев, Ю.Г. Анализ и проверка формул для подбора энергетических параметров молотов [Текст] / Ю.Г. Чернышев // Труды Фрунзенского политехнического института / Строительство и архитектура. – Фрунзе: Типография ФПИ, 1976. – Выпуск 87. - С.136-143.
16. Тюреходжаев, А.Н. Осадка сваи при ударе и установление параметров сопротивления грунта [Текст] / А.Н. Тюреходжаев // Известия АН КазССР / Серия физико-математическая. – 1973. - №5. – С.58-65.
17. Тюреходжаев, А.Н. Распространение волн в свае, движущейся в многослойном грунте [Текст] / А.Н. Тюреходжаев // Известия АН КазССР / Серия физико-математическая. – 1979. - №1. – С.57-62.
18. Гончаров, Б.В. Колебания грунта как критерий оценки предельного сопротивления свай в процессе забивки [Текст] / Б.В. Гончаров, В.Ф. Ковалев, М.З. Фукс. Тезисы докладов VI Всесоюзной конференции по динамике оснований, фундаментов и подземных сооружений. – М.: НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, 1985. – С.21-24.
19. Гольдштейн, В.М. Анализ эффективности динамических методов расчета скорости погружения и несущей способности забивных свай [Текст] / В.М. Гольдштейн, М.Н. Гольдштейн, Н.С. Швец, В.Г. Шаповал. Тезисы докладов VI Всесоюзной конференции по динамике оснований, фундаментов и подземных сооружений. – М.: НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, 1985. – С.204-207.

20. Султанов, К.С. Влияние физико-механических свойств грунтов на погружение сваи [Текст] / К.С. Султанов, Ж.А. Даминов // Сборник тезисов докладов 1 региональной конференции / Строительство на структурно-неустойчивых грунтах. – Самарканд: МВП «САМСНАБ», 1992. – С.121-122.
21. Гончаров, Б.В. К вопросу о выборе молота с учетом размеров свай и характеристик грунта [Текст] / Б.В. Гончаров // Труды БашНИИстроя / Строительство предприятий нефтепереработки и нефтехимии. – М.: Стройиздат, 1966. – С.208-214.
22. Шахирев, В.Б. Совершенствование статических и динамических испытаний свай [Текст] / В.Б. Шахирев, Г.И. Сивицкий. Тезисы докладов и сообщений всесоюзной конференции по совершенствованию технологии работ нулевого цикла с использованием средств механизации и автоматизации. - Уфа: НИИпромстрой, 1981. – С.42-45.
23. Бартоломей, А.А. Ресурсосберегающие технологии возведения фундаментов из свай заводской готовности [Текст] / А.А. Бартоломей, Б.В. Бахолдин, Б.В. Гончаров и др. – М.: Стройиздат, 1990. – 111 с.
24. Медведева, О.П. Определение несущей способности пирамидально-призматических свай по результатам динамических испытаний [Текст] / О.П. Медведева, Н.Ф. Буланкин // Труды международного семинара по механике грунтов, фундаментостроении и транспортным сооружениям. – Пермь: РИО ПГТУ, 2000. – С.196-199.
25. Бартоломей, А.А. Основы импульсной технологии устройства фундаментов [Текст] / А.А. Бартоломей, В.Н. Григорьев, И.М. Омельчак, О.Г. Пенский. – Пермь: РИО ПГТУ, 2002. – 174 с.
26. Чичерин, И.И. К вопросу погружения сваи [Текст] / И.И. Чичерин, И.П. Ярмолович // Сборник научных трудов ВЗПИ / Строительство. – М.: Всесоюзный заочный политехнический институт, 1978. – С.103-111.
27. Чанышев, А.И. Определение сопротивления среды при внедрении в нее жесткого тела [Текст] / А.И. Чанышев, О.Е. Белоусова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – Новосибирск: Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения РАН, 2025. -№9. – С.5-14.
28. Методические рекомендации по проведению полевых испытаний свай и сооружений ПГС методом ЭЛДИ с применением ударной нагрузки [Текст]. – М: ГУП НИИОСП и. Н.М. Герсеванова, 2002. – 23 с.
29. Офрихтер, Я.В. Использование волновой теории удара для определения несущей способности свай [Текст] / Я.В. Офрихтер, А.Б. Пономарев // Вестник Пермского НИПУ / Строительство и архитектура. – Пермь: ПНИПУ, 2019. – Том 10. - №3. – С.35-43.
30. Попсуенко, И.К. Интерпретация результатов испытаний забивных трубчатых свай с грунтовой пробкой [Текст] / И.К. Попсуенко, С.П. Пятковский, А.В. Бессмертный // Вестник НИЦ «Строительство». – М.: НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, 2020. - №3(26). – С.64-73.
31. Мухин, А.А. К вопросу о применении метода испытаний свай динамической нагрузкой с использованием принципов волновой теории удара [Текст] / А.А. Мухин, А.А. Чуркин, К.А. Филиппов, А.В. Гаврютина // Международный научно-технический журнал / Геотехника. – М.: ООО «Геомаркетинг», 2020. – Том XII. - №2. – С.70-87.
32. МСП 5.01-101-2003. Проектирование и устройство свайных фундаментов [Текст]. – Астана: Комитет по делам строительства ЖКХ МИТ РК, 2007. – 146 с.
33. МГС (ГОСТ 5686-12). Грунты. Метод полевых испытаний сваями [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2014. – 42 с.
34. Нарбут, Р.М. Работа свай в глинистых грунтах [Текст] / Р.М. Нарбут. – Ленинград: Стройиздат, 1972. – 160 с.
35. Бахолдин, Б.В. Энергия удара дизель-молота при погружении свай [Текст] / Б.В. Бахолдин // Труды НИИОСП им. Н.М. Герсеванова / Основания,

фундаменты и подземные сооружения. – М.: Стройиздат, 1977. – Выпуск № 66. - С. 40-45.
36. Новожилов, Г.Ф. Бездефектное погружение свай в талых и вечномерзлых грунтах [Текст] / Г.Ф. Новожилов. – Ленинград: Стройиздат, 1987. - 111 с.
37. Абрамов, В.Е. Динамическое взаимодействие дизель-молота и сваи в процессе ее погружения в грунт [Текст] / В.Е. Абрамов // Материалы V всесоюзной конференции / Динамика оснований, фундаментов и подземных сооружений. – М. НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, 1981. – Том 1. – С. 165-167.
38. Бекбасаров, И.И. Определение энергии удара дизель-молота при забивке свай в грунты [Текст] / И.И. Бекбасаров // Научный журнал ПГУ им. С. Торайгырова / Наука и техника Казахстана. - Павлодар, 2004. - №1. - С. 139-145.
39. Бекбасаров, И.И. Определение высоты подъема ударной части дизель-молота при погружении свай [Текст] / И.И. Бекбасаров // Труды геотехнической конференции, посвященной году РФ в РК: «Геотехнические проблемы строительства крупномасштабных и уникальных объектов». – Алматы, 2004. – С.601-604.
40. Бадьин, Г.М. О коэффициенте n в формуле Н.М. Герсеванова и методике его определения [Текст] / Г.М. Бадьин. – В кн.: Несущая способность свай в слабых грунтах. - Ленинград, 1966. - Часть 2. - С. 67-69.
41. Бахолдин, Б.В. Об эмпирическом коэффициенте n в динамической формуле профессора Н.М. Герсеванова и методике его определения [Текст] / Б.В. Бахолдин, Л.Я. Гинзбург // Научные труды НИИОСП. - М.: Стройиздат, 1971. - Выпуск 61. – С. 135-138.
42. Федоров, В.И. К вопросу повышения точности оценки несущей способности свай, по результатам динамических испытаний [Текст] / В.И. Федоров // Тезисы докладов и сообщений всесоюзной конференции: «Совершенствование технологии работ нулевого цикла с использованием средств механизации и автоматизации». - Уфа, 1981. – С. 45-47.
43. Бекбасаров, И.И. Работа сваи из шлакощелочного бетона в различных грунтовых условиях при действии статических и динамических нагрузок [Текст]: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / И.И. Бекбасаров. – Пермь: ППИ, 1983. – 22 с.
44. Савельев, И.В. Курс физики [Текст] / И.В. Савельев. – М.: Наука, 1989. – 352 с.
45. Бекбасаров, И.И. Об энергоемкости забивки штампа и свай разной длины при устройстве ленточного комбинированного свайного фундамента (исследования на моделях) [Текст] / И.И. Бекбасаров, Е.И. Атенов, Н.А. Шаншабаев // Научный журнал / Механика и технологии. – Тараз: НАО «Таразкий университет им. М.Х. Дулати», 2024. - №2 (84). – С.190-206. https://doi.org/10.55956/ZBJU3224.
46. Бекбасаров, И.И. Способ динамического испытания комбинированного свайного фундамента [Текст] И.И. Бекбасаров, Е.И. Атенов, Н.А. Шаншабаев / Патент РК №9206 на полезную модель. - Астана: РГП НИИС, 2025. – Сайт: www.kazpatent.kz, раздел “Государственный реестр полезных моделей республики Казахстан».
47. Бекбасаров, И.И. Забивные свайные конструкции зданий и сооружений [Текст] / И.И. Бекбасаров. – Алматы: «KEMEL KITAP», 2025. – 409 с.
48. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений [Текст]. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01. 83*. -М.: Российский институт стандартизации, 2016. – 220 с.
49. Кочетков, А.В. Некоторые вопросы теории удара [Текст] / А.В. Кочетков, П.В. Федотов // Интернет-журнал / Науковедение. – М.: Институт государственного управления, права и инновационных технологий, 2013. - №5. – С.1-15.
50. Соляник-Красса, К.В. Введение в механику деформируемого твердого тела [Текст] / К.В. Соляник-Красса. - Ленинград: Издательство Ленинградского государственного университета, 1976. – 408.

51. Снитко, Н.К. Анализ амплитуд колебаний при забивке свай и осадок поверхности грунта [Текст] / Н.К. Снитко // Межвузовский тематический сборник трудов / Механика грунтов, основания и фундаменты. – Ленинград: ЛИСИ, 1979. – С.28-34.
52. Степин, П.А. Сопротивление материалов [Текст]: учебник / П.А. Степин. – М.: Высшая школа, 1983. – 303 с.
53. Манжосов, В.К. Модели продольного удара [Текст] / В.К. Манжосов. – Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2006. – 160 с.
54. Баженов, Ю.М. Бетон при динамическом нагружении [Текст] / Ю.М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1970. – 272 с.
55. Руководство по производству и приемке работ при устройстве оснований и фундаментов [Текст]. – М.: НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, 1977. – 241 с.
56. Бабанов, В.В. Назначение жесткостных параметров железобетонных конструкций в конечно-элементных динамических расчетах сооружений [Текст] / В.В. Бабанов, Н.А. Евсеев // Научно-технический и производственный журнал / Жилищное строительство. – М., 2017. - №12. – С.26-29.
56. Рузанов, П.А. Математическое моделирование процессов динамического деформирования и разрушения бетонов в двумерной постановке: диссертация на соискание кандидата физико-математических наук [Текст] / П.А. Рузанов. Специальность: 01.02.04. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 1999. – 147 с.
58. Лещинский, М.Ю. Испытание бетона [Текст]: справочное пособие / М.Ю. Лещинский. – М.: Стройиздат, 1980. – 360 с.

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 21.03.26, принят 23.06.26.

И.И. Бекбасаров[1], Е.И. Атенов[1], Н.А. Шаншабаев[1]

[1]М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан

ШТАМПТАЛҒАН ҚАЗАНШҰҢҚЫРДА ОРНАТЫЛҒАН ҚАДА МЕН РОСТВЕРКТІҢ ЖҮК КӨТЕРГІШТІГІН БАҒАЛАУДЫҢ ДИНАМИКАЛЫҚ ӘДІСІ

Аңдатпа. Динамикалық сынақ нәтижелері бойынша қадалардың кедергісін анықтауға арналған формулаларды талдау нәтижелері көрсетілген. Олардың кемшіліктері анықталған. Динамикалық сынақтарды жүргізудің қолданыстағы әдістемесі мен қолданылатын формулалар ростверкті қадалар маңында штампталған қазаншұңқырға орналастырылған жағдайдағы аралас қадалы іргетас орнату жағдайына бейімделмегені анықталған. Технологиялық операциялардың тізбесі және аралас қадалар іргетасын динамикалық сынау тәртібі анықталған. Сынақтарды орындау үшін мөртабанды имитациялайтын болат қуыс үлгіні пайдалану ұсынылады. Балға соғылған кезде "балға-мөртабан-қадалар-топырақ" жүйесінің элементтерінің өзара әрекеттесу ерекшеліктерін сипаттайтын бастапқы алғышарттар келтірілген және олардың негізінде дизельді балғалардың екі соққы режимі үшін энергетикалық тепе-теңдік теңдеулері жасалған (балғаның жану камерасына отын берілмеген және берілген жағдайда). Энергия балансының теңдеулері негізінде топырақтың динамикалық кедергісін анықтау, соққы кезінде штамп пен қаданың үлгісін енгізу формулалары алынған. Формулалар қадалар мен мөртабан үлгісін батыру кезінде

топырақтың деформациялану сипатын, сондай-ақ "балға-мөртабан-қадалар-топырақ" жүйесі элементтерінің динамикалық параметрлерін (динамикалық жүктемелер, динамикалық деформациялар, жүктеме мен деформациялар бойынша динамикалық коэффициент) ескереді. Балға соғылған кезде қаданың қозғалу жылдамдығына байланысты динамикалық және тұтқыр топырақ кедергісі арасындағы айырмашылық түрінде қадалар мен қадалы ростверктің статикалық кедергісін анықтау формуласы ұсынылған.

Тірек сөздер: қада, мөртабан, балға, шаблон, ростверк, топырақ, соққы, қарсылық, тұтқыр қарсылық, қаданың шөгу тоқтауы, жылдамдық, динамизм коэффициенті, серпімділік модулі.

I.I. Bekbasarov[1], Y.I. Atenov[1], N.A. Shanshabaev[1]

[1]M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan

DYNAMIC METHOD FOR ASSESSING THE BEARING CAPACITY OF PILES AND GRILLWORK ARRANGED IN A STAMPED EXCAVATION

Abstract. The results of the analysis of formulas designed to determine the resistance of piles based on the results of dynamic tests are presented. Their shortcomings have been identified. It has been established that the existing dynamic testing methodology and the formulas used are not adapted to the conditions of the combined pile foundation, in which the grillwork is arranged in a excavation stamped in the near-pile soil. The list of technological operations and the procedure for conducting dynamic tests of a combined pile foundation are defined. It is proposed to use a hollow steel template imitating a stamp to perform the tests. The initial prerequisites characterizing the features of the interaction of the elements of the hammer-stamp-pile-ground system upon impact of a hammer are given, and based on them, the energy balance equations for two shock modes of operation of diesel hammers (without and with fuel supply to the combustion chamber of the hammer) are compiled. Based on the energy balance equations, formulas were obtained for determining the dynamic resistance of the soil, the introduction of a stamp template and piles, upon impact. The formulas take into account the nature of soil deformation during the immersion of the pile and the stamp template, as well as the dynamic parameters of the elements of the hammer-stamp template-pile-soil system (dynamic loads, dynamic deformations, dynamic coefficient of load and deformation). A formula is proposed for determining the static resistance of a pile and a pile grillage in the form of the difference between the dynamic and viscous resistance of the soil, which depends on the speed of movement of the pile upon impact of a hammer.

Keywords: pile, stamp, hammer, template, grillage, soil, impact, resistance, viscous resistance, failure, velocity, coefficient of dynamism, modulus of elasticity.

References

1. Mets M., Musatova E. Opredeleniye nesushchey sposobnosti svay s pomoshch'yu staticheskikh i dinamicheskikh ispytaniy [Determination of the bearing capacity of piles using static and dynamic tests] // Proceedings of the international scientific and technical conference / Geotechnics of Belarus: science and practice. - Minsk: BNTU, 2013. - Pp. 178-194. [in Russian].
2. Gersevanov N.M. Opredeleniye soprotivleniya svay [Determination of pile resistance]. - Moscow: Gosstroyizdat, 1932. - 56 p. [in Russian].
3. Rusanov G.A. Opredeleniye soprotivleniya svay dinamicheskim metodom s uchetom uprugikh deformatsiy [Determination of pile resistance by the dynamic method taking into account elastic deformations] // Scientific report of the Research Institute of Mosstroy. - Moscow: Research Institute of Mosstroy, 1958. - Issue 12. - 7 p. [in Russian].

4. Tikunov P.R. Opredeleniye soprotivleniya svay po dannym zabivki svay s uchetom uprugikh peremeshcheniy grunta i svay [Determination of pile resistance based on pile driving data taking into account elastic displacements of soil and piles] // Collection of NIIOSP / Foundations and foundations. - Moscow: Gosstroyizdat, 1959. - Pp. 42-47. [in Russian].
5. Malinovsky A.F. Issledovaniye soprotivleniya zabivnykh svay i ikh sovmestnoy raboty s gruntom po dannym ispytaniy [Study of the resistance of driven piles and their joint work with soil based on test data]: abstract of a dissertation for the degree of candidate of technical sciences. - Moscow: MISI, 1969. - 19 p. [in Russian].
6. Eroshenko V.N. Svaynyye fundamenty v plastichnomerzlykh gruntakh [Pile foundations in plastically frozen soils]. - Leningrad: Stroyizdat, 1972. - 174 p. [in Russian].
7. Ginzburg L.Ya. Opredeleniye nesushchey sposobnosti svay v suglinkakh po rezul'tatam dinamicheskikh ispytaniy [Determination of the Bearing Capacity of Piles in Loams Based on the Results of Dynamic Tests] // Collection of NIIOSP / Foundations, Foundations, and Underground Structures. - Moscow: Stroyizdat, 1972. - Issue No. 63. - Pp. 133-136. [in Russian].
8. Bakholdin B.V., Ginzburg L.Ya. Issledovaniye soprotivleniya gruntov pri dinamicheskikh ispytaniyakh svay [Study of Soil Resistance during Dynamic Tests of Piles] // Works of the N.M. Gersevanov NIIOSP / Pile Foundations. - Moscow: Stroyizdat, 1975. - No. 65. - Pp. 97-115. [in Russian].
9. Gugnin, A.A. O vybore svayeboynogo oborudovaniya s uchetom gruntovykh usloviy [On the Selection of Pile Driving Equipment Taking into Account Soil Conditions] // Interuniversity Collection of Scientific Papers / Foundations and Foundations. – Perm: PSU, 1978. – P.40-45. [in Russian].
10. Bakholdin B.V., Gugnin A.A. Metodika vybora svayeboynogo oborudovaniya v zavisimosti ot gruntovykh usloviy [Methodology for Selecting Pile Driving Equipment Depending on Soil Conditions] // Proceedings of the N.M. Gersevanov Research Institute of Instrument Engineering / Foundations, Foundations, and Underground Structures. – Moscow: Stroyizdat, 1980 – No. 71. – P. 72-82. [in Russian].
11. Bakholdin B.V. Obobshchennyy metod prognozirovaniya nesushchey sposobnosti svay po rezul'tatam dinamicheskikh ispytaniy [Generalized Method for Predicting the Bearing Capacity of Piles Based on the Results of Dynamic Tests] // Proceedings of the IV International Conference on Pile Foundation Engineering. – Perm: PSTU, 1994. – Part 1. – P. 59-63. [in Russian].
12. Bekbasarov I.I. O nekotorykh aspektakh teoreticheskogo sovershenstvovaniya dinamicheskogo metoda opredeleniya soprotivleniya svay [On Some Aspects of Theoretical Improvement of the Dynamic Method for Determining Pile Resistance] // Proceedings of the All-Russian National Conference with International Participation / Deep Foundations and Geotechnical Problems of Territories. - Perm: PNRPU Publishing House, 2017. - Pp. 362-372. [in Russian].
13. Bekbasarov I.I. O teoreticheskom sovershenstvovanii metoda opredeleniya soprotivleniya svay po rezul'tatam ikh dinamicheskikh ispytaniy [On Theoretical Improvement of the Method for Determining Pile Resistance Based on the Results of Their Dynamic Tests] // Scientific and Practical Journal / Construction and Architecture. - Moscow: OOO "RIOR Publishing Center", 2017. - Volume 5. - Issue 2 (15). Pp. 32-41. [in Russian].
14. Chernyshev Yu.G. O koeffitsiyente vosstanovleniya pri zabivke svay [On the Coefficient of Restoration during Pile Driving] // News of Higher Education Institutions / Construction and Architecture. - Novosibirsk, 1972. No. 7. - P. 148-151. [in Russian].

15. Chernyshev Yu.G. Analiz i proverka formul dlya podbora energeticheskikh parametrov molotov [Analysis and verification of formulas for selecting the energy parameters of hammers] // Proceedings of the Frunze Polytechnic Institute / Construction and architecture. - Frunze: FPI Printing House, 1976. - Issue 87. - P. 136-143. [in Russian].
16. Tyurekhodzhaev A.N. Osadka svai pri udare i ustanovleniye parametrov soprotivleniya grunta [Pile settlement upon impact and determination of soil resistance parameters] // Bulletin of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR / Physical and Mathematical Series. - 1973. - No. 5. - P. 58-65. [in Russian].
17. Tyurekhodzhaev A.N. Rasprostraneniye voln v svaye, dvizhushcheysya v mnogosloynom grunte [Wave Propagation in a Pile Moving in Multilayer Soil] // Bulletin of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR / Physical-Mathematical Series. - 1979. - No. 1. - P. 57-62. [in Russian].
18. Goncharov B.V., Kovalev V.F., Fuks M.Z. Kolebaniya grunta kak kriteriy otsenki predel'nogo soprotivleniya svay v protsesse zabivki [Soil Oscillations as a Criterion for Estimating the Ultimate Resistance of Pile Driving]. Abstracts of the VI All-Union Conference on the Dynamics of Bases, Foundations, and Underground Structures. - Moscow: N.M. Gersevanov Research Institute of Instrument Engineering, 1985. - P. 21-24. [in Russian].
19. Goldstein V.M., Goldstein M.N., Shvets N.S., Shapoval V.G. Analiz effektivnosti dinamicheskikh metodov rascheta skorosti pogruzheniya i nesushchey sposobnosti zabivnykh svay [Analysis of the Efficiency of Dynamic Methods for Calculating the Driving Speed and Bearing Capacity of Driven Piles]. Abstracts of the VI All-Union Conference on the Dynamics of Bases, Foundations, and Underground Structures. Moscow: N.M. Gersevanov Research Institute of Optical and Mechanical Engineering, 1985, pp. 204–207. [in Russian].
20. Sultanov K.S., Daminov Zh.A. Vliyaniye fiziko-mekhanicheskikh svoystv gruntov na pogruzheniye svai [Influence of Physical and Mechanical Properties of Soils on Pile Driving] // Collection of abstracts of the 1st regional conference / Construction on structurally unstable soils. Samarkand: MVP “SAMSNAB”, 1992. pp. 121–122. [in Russian].
21. Goncharov B.V. K voprosu o vybore molota s uchetom razmerov svay i kharakteristik grunta [On the Selection of a Hammer Taking into Account Pile Dimensions and Soil Characteristics] // Works of BashNIIstroy / Construction of oil refining and petrochemical plants. – Moscow: Stroyizdat, 1966. – Pp. 208-214. [in Russian].
22. Shakhirev V.B., Sivitsky G.I. Sovershenstvovaniye staticheskikh i dinamicheskikh ispytaniy svay [Improvement of Static and Dynamic Tests of Piles] Abstracts of Reports and Communications of the All-Union Conference on Improving the Technology of Zero-Cycle Works Using Mechanization and Automation. - Ufa: NIIpromstroy, 1981. - Pp. 42-45. [in Russian].
23. Bartolomey A.A., Bakholdin B.V., Goncharov B.V., et al. Resursosberegayushchiye tekhnologii vozvedeniya fundamentov iz svay zavodskoy gotovnosti [Resource-Saving Technologies for the Construction of Foundations from Factory-Ready Piles] - Moscow: Stroyizdat, 1990. - 111 p. [in Russian].
24. Medvedeva O.P., Bulankin N.F. Opredeleniye nesushchey sposobnosti piramidal'no-prizmaticheskikh svay po rezul'tatam dinamicheskikh ispytaniy [Determination of the Bearing Capacity of Pyramid-Prismatic Piles Based on the Results of Dynamic Tests] // Proceedings of the international seminar on soil mechanics, foundation engineering and transport structures. – Perm: RIO PSTU, 2000. – pp. 196-199. [in Russian].

25. Bartolomey A.A., Grigoriev V.N., Omelchak I.M., Pensky O.G. Osnovy impul'snoy tekhnologii ustroystva fundamentov [Fundamentals of pulse technology for foundation construction]. – Perm: RIO PSTU, 2002. – 174 p. [in Russian].
26. Chicherin I.I., Yarmolovich I.P. K voprosu pogruzheniya svai [On the issue of pile driving] // Collection of scientific papers of VZPI / Construction. – Moscow: All-Union Correspondence Polytechnic Institute, 1978. – pp. 103-111. [in Russian].
27. Chanyshev A.I., Belousova O.E. Opredeleniye soprotivleniya sredy pri vnedrenii v neye zhestkogo tela [Determination of the resistance of the medium when a rigid body is penetrated into it] // Mining information and analytical bulletin. - Novosibirsk: N.A. Chinakal Mining Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2025. - No. 9. - P. 5-14. [in Russian].
28. Methodical recommendations for conducting field tests of piles and PGS structures using the ELDI method using impact loading. - M: GUP NIIOSP and. N.M. Gersevanova, 2002. - 23 p. [in Russian].
29. Ofrikhter Ya.V., Ispol'zovaniye volnovoy teorii udara dlya opredeleniya nesushchey sposobnosti svay Ponomarev A.B. Using wave impact theory to determine the bearing capacity of piles] // Bulletin of Perm National Research Polytechnic University / Construction and architecture. – Perm: PNIPU, 2019. – Vol. 10. - No. 3. – P. 35-43. [in Russian].
30. Popsuenko I.K., Pyatkovsky S.P., Bessmertny A.V. Interpretatsiya rezul'tatov ispytaniy zabivnykh trubchatykh svay s gruntovoy probkoy [Interpretation of Test Results of Driven Tubular Piles with a Soil Plug] // Bulletin of the Scientific Research Center "Construction". - Moscow: N.M. Gersevanov Research Institute of Instrument Engineering, 2020. - No. 3 (26). – P. 64-73. [in Russian].
31. Mukhin A.A., Churkin A.A., Filippov K.A., Gavryutina A.V. K voprosu o primenenii metoda ispytaniy svay dinamicheskoy nagruzkoy s ispol'zovaniyem printsipov volnovoy teorii udara [On the Application of the Method of Testing Piles with Dynamic Load Using the Principles of Wave Impact Theory] // International Scientific and Technical Journal / Geotechnics. – M.: OOO Geomarketing, 2020. – Vol. XII. – No. 2. – P. 70-87. [in Russian].
32. MSP 5.01-101-2003. Design and construction of pile foundations. – Astana: Committee for Construction, Housing and Public Utilities, MIT RK, 2007. – 146 p. [in Russian].
33. MGS (GOST 5686-12). Soils. Method of field testing with piles. – M.: Standartinform, 2014. – 42 p. [in Russian].
34. Narbut R.M. Rabota svay v glinistykh gruntakh [Performance of piles in clayey soils]. – Leningrad: Stroyizdat, 1972. – 160 p.
35. Bakholdin B.V. Energiya udara dizel'-molota pri pogruzhenii svay [Impact Energy of a Diesel Hammer During Pile Driving] // Proceedings of the Gersevanov Research Institute of Instrument Making / Foundations, Foundations, and Underground Structures. – Moscow: Stroyizdat, 1977. – Issue No. 66. – P. 40-45. [in Russian].
36. Novozhilov G.F. Bezdefektnoye pogruzheniye svay v talykh i vechnomerzlykh gruntakh [Defect-Free Driving of Pile in Thawed and Permafrost Soils]. – Leningrad: Stroyizdat, 1987. – 111 p. [in Russian].
37. Abramov V.E. Dinamicheskoye vzaimodeystviye dizel'-molota i svai v protsesse yeye pogruzheniya v grunt [Dynamic Interaction of a Diesel Hammer and a Pile During Its Driving into the Soil] // Proceedings of the V All-Union Conference / Dynamics of Foundations, Foundations, and Underground Structures. – Moscow: N.M. Gersevanova, 1981. - Vol. 1. - P. 165-167. [in Russian].
38. Bekbasarov I.I. Opredeleniye energii udara dizel'-molota pri zabivke svay v grunty [Determination of the impact energy of a diesel hammer when driving piles into soils] // Scientific journal of PSU named after S. Toraighyrov / Science and technology of Kazakhstan. - Pavlodar, 2004. - No. 1. - P. 139-145. [in Russian].

39. Bekbasarov I.I. Opredeleniye vysoty pod"yema udarnoy chasti dizel'-molota pri pogruzhenii svay [Determination of the lifting height of the striking part of a diesel hammer when driving piles] // Proceedings of the geotechnical conference dedicated to the Year of the Russian Federation in the Republic of Kazakhstan: "Geotechnical problems of construction of large-scale and unique objects". - Almaty, 2004. - P. 601-604. [in Russian].
40. Bad'in G.M. O koeffitsiyente v formule N.M. Gersevanova i metodike yego opredeleniya [On the coefficient in the formula of N.M. Gersevanov and the method of its determination]. - In the book: Bearing capacity of piles in soft soils. - Leningrad, 1966. - Part 2. - Pp. 67-69. [in Russian].
41. Bakholdin B.V., Ginzburg L.Ya. Ob empiricheskom koeffitsiyente v dinamicheskoy formule professora N.M. Gersevanova i metodike yego opredeleniya [On the empirical coefficient in the dynamic formula of professor N.M. Gersevanov and the method of its determination] // Scientific works of NIIOSP. - Moscow: Stroyizdat, 1971. - Issue 61. - Pp. 135-138. [in Russian].
42. Fedorov V.I. K voprosu povysheniya tochnosti otsenki nesushchey sposobnosti svay, po rezul'tatam dinamicheskikh ispytaniy [On the issue of increasing the accuracy of assessing the bearing capacity of piles, based on the results of dynamic tests] // Abstracts of reports and communications of the All-Union conference: "Improving the technology of zero-cycle work using mechanization and automation." - Ufa, 1981. - Pp. 45-47. [in Russian].
43. Bekbasarov I.I. Rabota svai iz shlakoshchelochnogo betona v razlichnykh gruntovykh usloviyakh pri deystvii staticheskikh i dinamicheskikh nagruzok [Performance of Slag-Alkali Concrete Piles in Various Soil Conditions under Static and Dynamic Loads]: Abstract of a Dissertation for the Degree of Candidate of Technical Sciences. - Perm: PPI, 1983. - 22 p. [in Russian].
44. Savelyev I.V. Kurs fiziki [Physics Course]. - Moscow: Nauka, 1989. - 352 p. [in Russian].
45. Bekbasarov I.I., Atenov E.I., Shanshabaev N.A. Ob energoyemkosti zabivki shtampa i svay raznoy dliny pri ustroystve lentochnogo kombinirovannogo svaynogo fundamenta (issledovaniya na modelyakh) [On the Energy Intensity of Driving a Stamp and Piles of Different Lengths in the Construction of a Combined Strip Pile Foundation (Research on Models)] // Scientific Journal / Mechanics and Technology. – Taraz: NAO "Taraz University named after M.Kh. Dulati", 2024. - No. 2 (84). – P. 190-206. https://doi.org/10.55956/ZBJU3224. [in Russian].
46. Bekbasarov I.I., Atenov E.I., Shanshabaev N.A. Sposob dinamicheskogo ispytaniya kombinirovannogo svaynogo fundamenta [Method of dynamic testing of a combined pile foundation] / Patent of the Republic of Kazakhstan No. 9206 for utility model. - Astana: RSE NIIS, 2025. – Website: www.kazpatent.kz, section “State Register of Utility Models of the Republic of Kazakhstan”. [in Russian].
47. Bekbasarov I.I. Zabivnyye svaynyye konstruktsii zdaniy i sooruzheniy [Driven pile structures of buildings and structures]. – Almaty: “KEMEL KITAP”, 2025. – 409 p. [in Russian].
48. SP 22.13330.2016. Foundations of buildings and structures. Updated version of SNiP 2.02.01. 83*. -M.: Russian Institute of Standardization, 2016. – 220 p. [in Russian].
49. Kochetkov A.V., Fedotov P.V. Nekotoryye voprosy teorii udara [Some issues of impact theory] // Naukovedenie. – M.: Institute Public Administration, Law and Innovation Technologies, 2013. - No. 5. - P. 1-15. [in Russian].
50. Solyanik-Krassa K.V. Vvedeniye v mekhaniku deformiruyemogo tverdogo tela [Introduction to the Mechanics of a Deformable Solid]. - Leningrad: Leningrad State University Publishing House, 1976. - 408. [in Russian].

51. Snitko N.K. Analiz amplitud kolebaniy pri zabivke svay i osadok poverkhnosti grunta [Analysis of Oscillation Amplitudes during Pile Driving and Soil Surface Settlement] // Interuniversity Thematic Collection of Papers / Soil Mechanics, Foundations and Foundations. - Leningrad: LISI, 1979. - P. 28-34. [in Russian].
52. Stepin P.A. Soprotivleniye materialov [Strength of Materials]: textbook / P.A. Stepin. - Moscow: Vysshaya shkola, 1983. - 303 p. [in Russian].
53. Manzhosov V.K. Modeli prodol'nogo udara [Longitudinal Impact Models]. - Ulyanovsk: Ulyanovsk State Technical University, 2006. - 160 p. [in Russian].
54. Bazhenov Yu.M. Beton pri dinamicheskom nagruzhenii [Concrete under Dynamic Loading]. - Moscow: Stroyizdat, 1970. - 272 p. [in Russian].
55. Guide to the Production and Acceptance of Work in the Construction of Foundations and Bases. - Moscow: N.M. Gersevanov Research Institute of Optical and Optical Structural Engineering, 1977. - 241 p. [in Russian].
56. Babanov V.V., Evseev N.A. Naznacheniye zhestkostnykh parametrov zhelezobetonnykh konstruktsiy v konechno-elementnykh dinamicheskikh raschetakh sooruzheniy [Assignment of Stiffness Parameters of Reinforced Concrete Structures in Finite Element Dynamic Calculations of Structures] // Scientific, Technical and Production Journal / Housing Construction. - Moscow, 2017. - No. 12. - P. 26-29. [in Russian].
57. Ruzanov P.A. Matematicheskoye modelirovaniye protsessov dinamicheskogo deformirovaniya i razrusheniya betonov v dvumernoy postanovke [Mathematical Modeling of Dynamic Deformation and Fracture Processes of Concrete in a Two-Dimensional Statement: Dissertation for the Degree of Candidate of Physical and Mathematical Sciences]. Specialty: 01.02.04. - Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev, 1999. - 147 p. [in Russian].
58. Leshchinsky M.Yu. Ispytaniye betona [Concrete Testing]: Reference Manual. - M.: Stroyizdat, 1980. - 360 p. [in Russian].

ҒТАМР 67.15.35

А.А. Сағындықов[1] – *негізгі автор*,
Ж.Т. Сулейменов[2], Б.А. Карымсаков[3], Д.Ғ. Алимкулова[4]

[1]Техн. ғылым. д-ры, профессор, [2]Магистр, аға оқытушы ,[3]Магистрант

[1,2]Техн. ғылым. д-ры, профессор, [3]Техн. ғылым. магистрі, аға оқытушы, [4]Магистрант

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0002-1812-5739 [2]https://orcid.org/0000-0002-1431-8074 [3]https://orcid.org/0000-0002-9617-3066 [4]https://orcid.org/0009-0001-5796-8536*

[1,2,3,4]Қазақ ұлттық су шаруашылығы және ирригация университеті, Тараз, Қазақстан

[1]aa.sagyndykov@dulatu.kz

https://doi.org/10.55956/CKZS6793

СУПЕРПЛАСТИФИКАТОР ЖӘНЕ ҰШПА КҮЛ ҚОСПАЛЫ ҰСАҚ ТҮЙІРШІКТІ ГИДРОТЕХНИКАЛЫҚ БЕТОНДАР

Аңдатпа. Зерттеудің мақсаты – «СП-1» суперпластификаторы мен микрокремнеземді қолданумен гидротехникалық ұсақ түйіршікті бетонның реологиялық және физика-механикалық қасиеттерін зерттеп, құрамын жасау. Механоактивтендірілген ұшпа күлдің, микрокремнеземнің және суперпластификатордың ұсақ түйіршікті гидротехникалық бетонның технологиялық және физика-механикалық қасиеттеріне әсері зерттелді. Бетон қоспасының құрамына активацияланған ұшпа күлді, СП-1 суперпластификаторын және 7–10 кг/м³ мөлшерінде базальт талшығын енгізу бетонның жылжымалығын (140-160мм),сығу (Rсж28 = 48,2 МПа), иілу (5,4-7,7МПа) беріктікті, су өткізбейтіндік (W10), аязға төзімділікке (F300) және коррозияға төзімділікті арттыруға ықпал етеді.

Тірек сөздер: гидротехникалық ұсақ түйіршікті бетон, суперпластификатор, беріктік, аязға төзімділік, су өткізбейтіндік, микрокремнезем, коррозияға төзімділік.

Сағындықов, А.А. Суперпластификатор және ұшпа күл қоспалы ұсақ түйіршікті гидротехникалық бетондар [Мәтін] / А.А. Сағындықов, Ж.Т. Сулейменов, Б.А. Карымсаков, Д.Ғ. Алимкулова //Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №2(92). – Б.315-323. https://doi.org/10.55956/CKZS6793

Кіріспе. Бақылаулар көрсеткендей, көптеген гидротехникалық құрылыстар пайдалану барысында белгіленген мерзімінен бұрын істен шығады, бұл оларды жөндеуге, сондай-ақ жаңа құрылыстар салуға қосымша шығындарға әкеледі.

Гидромелиорациялық құрылыста қолданылатын ауыр бетондарға жоғары талаптар қойылады, ең алдымен олардың беріктігімен, аязға төзімділігімен бағаланады және цемент тасынан кальций гидроксидінің көп бөлінуіне қарсылығы.

Жұқа қабырғалы гидромелиорациялық құрылымдар бүкіл кешеннің тұрақты агрессивті факторларды: минералданудың жоғары дәрежесіндегі судың әсері, соның ішінде жер асты сулары, үздіксіз қозғалатын су ағындарының кавитациялық әсерін қатты сезінеді.

Жоғарыда аталған тұрақты агрессивті әсерлер сенімділікті төмендетеді және мелиоративті құрылымдарды біртіндеп жояды. Сондықтан ақаулар саны біртіндеп артып келеді, бұл су ресурстарының тасымалдау жүйесінің айтарлықтай жоғалуына әкеледі.

Қойылған міндеттерді шешу үшін рационалды түрде күрделі модификатормен бірге материалдың әр микро көлемінде бастапқы бөлшектерді біріктіретін, жоғары беріктігі бар тұтқыр заттарды қолдану арқылы қажетті технологиялық және пайдалану сипаттамалары жоғары тығыздықтағы бетон құрылымын құру негізгі бағыт болып табылады.

Гидротехникалық құрылыстардың пайдалану сипаттамаларын арттыру мәселесін шешу үшін тиімді ұсақ түйіршікті бетондарды (ҰТБ) қолдану негізінде олардың құрамын оңтайландыру, дайындау технологиясын жетілдіру, сондай-ақ кешенді органо-минералдық модификациялаушы қоспаларды пайдалану қажет [1].

Жұмыстың мақсаты – құрылымын тығыздау арқылы, атап айтқанда «СП-1» суперпластификаторы мен микрокремнеземді қолдану есебінен қажетті беріктікке, су өткізбейтіндікке және аязға төзімділікке ие, гидротехникалық құрылыстарға арналған ұсақ түйіршікті бетон алу.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Ұсақ түйіршікті бетонды (ҰТБ) дайындау үшін келесі материалдар қолданылды:

– қалыпты жағдайда қататын портландцемент (ПЦ) ЦЕМ I түрі, беріктікласы 42,5, булау кезінде тиімділігі I топ, жылумен өңдеуден кейінгі қысу беріктігі 27 МПа-дан жоғары (МССТ 31108-2020, «Жамбыл цемент зауыты» АҚ);

- ірілік модулі 1,47 болатын табиғи ұсақ құм (МССТ 8736-2014);
- құрамындағы күл мөлшері 85 %-дан жоғары көмір жағудан алынған ұшпа күл (МССТ 25592-2019, Екібастұз к.);

– СП-1 суперпластификаторы – біртекті сұйық түрінде, тығыздығы 20°С-та 1050-1090 кг/м³, pH (6 ± 2) («Халықаралық құрылыс жүйелері» АҚ, Мәскеу облысы);

– микрокремнезем (МК) – өлшемі 0,01-0,1 мкм болатын сфералық бөлшектерден тұратын және құрамында 95 %-ға дейін таза аморфты кремнеземі бар «Tau-KenTemir» ЖШС Қарағанды қ. ферросилиций өндірісінің қалдығы. Ол портландцементтің гидратациясы кезінде бөлінетін әкпен белсенді әрекеттесіп, суда ерімейтін қосылыстар түзейді.

МК бөлшектерінің ультра дисперсті өлшемі оның суға қажеттілігін арттырады, сондықтан қоюлану әсерін төмендету үшін суперпластификаторларды көп мөлшерде енгізу қажет.

– Бетон тасының дисперстік арматурасы ретінде 5952-002-13307094-08 ТШ талаптарына сәйкес дайындалған кесілген базальт талшығы таңдалды. Базальт талшығының балқу температурасы 1450°С, фибраның орташа ұзындығы 12,7 мм, элементар талшықтың диаметрі 16,19 мкм, үзілу кезіндегі салыстырмалы ұзаруы 1,4-3,6%, созылу беріктігі R_t – 2,8-3,4 МПа·10³, талшықтың нақты тығыздығы – 2,63 г/см³, серпімділік модулі E_f – 100-130 МПа·10³. Сілтілер мен бейорганикалық қышқылдардың әсеріне төзімділігі жоғары.

– Су МССТ 23732-2011 талаптарына сәйкес қолданылды.

Ұсақ түйіршікті бетонның беріктігін сынау бақылау (суперпластификаторсыз) және негізгі (суперпластификатормен) құрамдар үшін өлшемдері 40×40×160 мм үлгі арқалықтарда 3, 7 және 28 тәулікте

жүргізілді. Бетон үлгілерін бір осьті қысу кезінде беріктікке және иілу кезінде созылуға сынау МССТ 10181-2014 сәйкес жүргізілді.

Бетонның су өткізбейтіндігін сынау МССТ 12730.5-84 сәйкес диаметрі 15 см болатын цилиндр үлгілеріндегі «ВИП-1.2» құралының көмегімен дымқыл дақ әдісімен жүргізілді (1-сурет).

Сурет 1. Вакуумдық әдіспен бетонның су өткізбейтіндігін өлшейтін ВИП-1.2 құрылғысы

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Минералдық қоспаларды механоактивациялау бір жағынан олардың гидравликалық белсенділігін арттырады, екінші жағынан цемент жүйесінде «микротолтырғыш әсерін» күшейтіп, гидросиликат фазаларының түзілуін жеделдетеді, бұл өз кезегінде беріктіктің артуын қамтамасыз ететіндігібелгілі [1,2].

Осыған байланысты төмен кальцийлі ұшпа күлді механоактивациялау арқылы оның белсенділігін арттыру және бетонның қажетті беріктігін қамтамасыз ету мүмкіндіктерін зерттеу туралы шешім қабылданды.

Ұшпа күлдің механикалық активациясы қатты бөлшектерді үйкелеу әдісімен ұнтақтайтын және олардың өлшемін 100 мкм-ден 0,1 мкм-ге дейін жеткізетін МПП 1-4 зертханалық планетарлық диірменінде жүргізілді.

Цемент шығынын азайту және бетон құрылымын тығыздау мақсатында бетон қоспасына ұсақдисперсті минералдық қоспа ретінде микрокремнезем (МК) енгізілді. Оның мөлшері цемент массасының 15%-ынан аспауы тиіс, өйткені оның құрамындағы белсенді кремний диоксиді бос кальций гидроксидін байланыстырады. Бұл шарт орындалмаса бетон ортасының сілтілігі төмендеп, болат арматураның коррозиясына орын алуы мүмкін [2].

Сонымен қатар, МК-ны (және кез келген ұсақ ұнтақталған толтырғышты) көп мөлшерде енгізу, оның жоғары дисперстілігі мен меншікті бетінің үлкен болуына байланысты (15 м²/г және одан жоғары) бетон қоспасының су қажеттілігін арттырады [3,4].

Ұсақ түйіршікті цемент-құм бетон қоспасының су қажеттілігін төмендету және оның қажетті қозғалғыштығын (РК = 150...160 мм) сақтау үшін суперпластификатор қолдану тиімді [5–6]. Пластификациялаушы қоспа ретінде су ерітіндісі түріндегі «СП-1» суперпластификаторы пайдаланылды.

Суперпластификатордың мөлшері құрғақ затқа шаққанда цемент массасының 1–1,5 % аралығында өзгертілді.

СП және МК-ның ерітінді үлгілерінің беріктігіне салыстырмалы әсерін анықтау үшін бірдей су-цемент қатынасы (С/Ц) сақталған үш түрлі құрам бойынша үлгілер дайындалды (1-кесте).

Кесте 1

Ұсақ түйіршікті бетондардың құрамы және үлгілерді сынау нәтижелері

Құрамдар,көрсеткіштер	№ құрамдар		
	1	2	3
Цемент,кг/м^3	500	400	400
Құм,кг/м^3	1500	1500	1500
Күл, кг/м^3	-	100	100
МК, кг/м^3	-	25	30
СП, кг/м^3	-	5	6
Су,л	190	180	170
Конустың жайылуы бойынша жылжымалылығы, мм	140	156	160
Иілу кезіндегі беріктік, МПа	5,4	6,6	6,2
Сығуға беріктік , МПа	41,1	48,2	46,4
Су өткізбейтіндігі, МПа	4	10	10

Дисперсті арматураланған бетондар жоғары беріктік көрсеткіштерімен, ұзақ мерзімділігімен, пайдалану жарамдылығымен және тозуға төзімділігімен ерекшеленеді. Осы қасиеттердің артуы нәтижесінде жөндеу аралық қызмет ету мерзімі ұзартылады, бұл өз кезегінде экономикалық тиімділікке қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Осыған байланысты бетон қоспасының құрамына базальт талшығы 7-10 кг/м³ мөлшерінде енгізілді (2-кесте).

Кесте 2

Фибробетонның физика-механикалық көрсеткіштері

Құрамдар, көрсеткіштер	№ құрамдар		
	2	4	5
Цемент,кг/м^3	400	400	400
Құм,кг/м^3	1500	1500	1500
Күл,кг/м^3	100	100	100
МК, кг/м^3	20	20	20
СП, кг/м^3	5	5	5
Су,л	190	190	190
Базальтты фибра, кг/м^3	-	7	10
Конустың жайылуы бойынша жылжымалылығы, мм	140	156	160
Иілу кезіндегі беріктік, МПа	5,4	7,5	7,7
Сығуға беріктік,МПа	46,1	47,2	48,5
Су өткізбейтіндігі, МПа	W10	W10	W10

2-кесте мәліметтері көрсеткендей, 28 тәуліктегі сығуға беріктіктің (47,2–48,5 МПа) және иілуге беріктік (7,5 МПа) ең жоғары мәндері құрамында базальт талшығы 7–10 кг/м³ мөлшерінде енгізілген фибробетон үлгілерінде байқалды.

Фибробетон үлгілерінде базальт талшығының мөлшері артқан сайын сығу кезіндегі жарықшақтардың пайда болуы айтарлықтай төмендейтіні анықталды.

Зерттеу нәтижелері бойынша ұсынылған №4 және №5-құрамдарға базальт микроарматуралық талшығын (байланыстырғыш массасының 7-10%) қосу кезінде, №2-құраммен (фибрасыз) салыстырғанда беріктіктің 4,3%-ға дейін шамалы артуы байқалды.

Сонымен қатар, талшықтардың оңтайлы мөлшерден артуы кезінде олардың түйірленуі орын алып, бұл бетон қоспасының біртектілігін бұзып, нәтижесінде беріктік көрсеткіштеріне кері әсер ететіні анықталды.

Пайдалану процесінде агрессивті ортаның әсер ету дәрежесі суару жүйелерінің темірбетон науалары олардың қызмет ету мерзіміне кері пропорционалды. Сондықтан оларды өндіруге арналған бетон қоршаған ортаның агрессивті әсеріне төзімді болуы керек. Агрессивті орта ретінде 5% натрий сульфатының (Na_2SO_4), 3% натрий хлоридінің (NaCl) және 0,01% тұз қышқылының (HCl) сулы ерітінділері таңдалды.

Сынақтар басталар алдында үлгілер кептіріліп, өлшенді.

Серияның экспозиция ұзақтығы агрессивті ортадағы үлгілер үшін алты ай болды.

Экспозиция аяқталғаннан кейін серияүлгілері (соның ішінде бақылау) беріктік сипаттамаларын – иілу және қысу күштерінің шектерін анықтау үшін пайдаланылды. Беріктік шегінің мәні сынақ нәтижелерінің орташа арифметикалық көрсеткіші бойынша қабылданды.

Сынақ нәтижелері бойынша агрессивті және агрессивті емес ортадағы үлгілердің массасының жоғалуы (1) формулаға сәйкес есептелді:

$$\Delta m=m_2-m_1/m_1 x100\% \quad (1)$$

мұнда: Δm – үлгілердің масса жоғалтуы, %; m_1 – сынаққа дейінгі үлгілердің массасы, г; m_2 – сынақтан кейінгі үлгілердің массасы, г.

Осыдан кейін жұптардың әрқайсысы үшін қысу (ΔR, %) және иілу кезіндегі созылу беріктігінің (ΔR_{tb}, %) өзгеруі (2), (3) формулаға сәйкес анықталды:

$$\Delta R=R_2-R_1/R_1 \text{ x } 100 \ \% \quad (2)$$

мұнда: ΔR – сығылғандағы беріктік шегінің өзгеруі, %; R_1 – бақылау үлгілерінің сығылғандағы беріктік шегі, МПа; R_2 – негізгі үлгілерінің сығылғандағы беріктік шегі, МПа.

$$\Delta R_{tb}=R_{2tb}-R_{1tb}/R_{1tb} \quad (3)$$

мұнда: ΔR_{tb} – иілу кезінде созылу беріктігінің өзгеруі, %; R_{1tb} – сынамаларды иілу кезінде созылу беріктігінің шегі (сынақ жүргізер алдында), МПа; R_{2tb} – негізгі үлгілерді иілу кезінде созылу беріктігінің шегі (бойынша сынақты аяқтағаннан кейін), МПа.

6 ай ішінде агрессивті ортадағы үлгілердің масса жоғалтуы (Δm), сығылғандағы (ΔR_c) және иілгендегі ΔR_{tb} беріктіктің (ΔR_{tb}) кемуі бойынша алынған сынақ нәтижелері 3-кестеде келтірілген.

Кесте 3

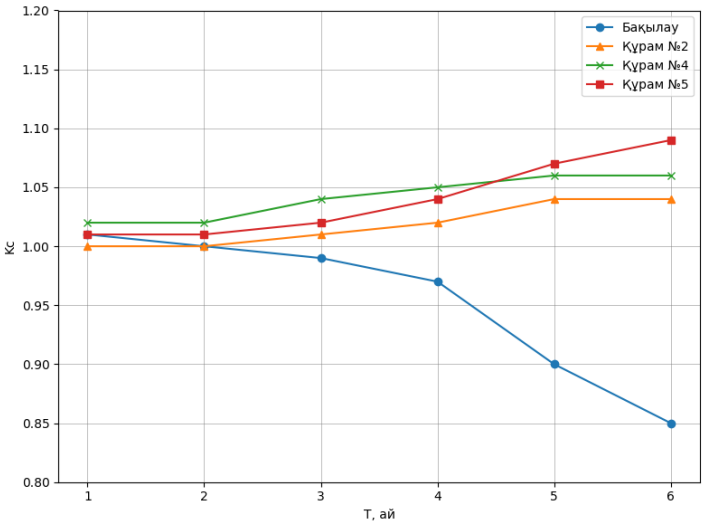
Бетон үлгілерінің агрессивті орталарына төзімділік иілу және қысу кезінде орташа массаның, созылу беріктігінің шегінің өзгеруі

Белгілеуі	Сипатта малары	Агрессивті ортаның түрі мен концентрациясы		
		3% NaCl	0,01% HCl	5% Na_2SO_4
Құрам №1	Δm, %	0,133	0,221	-0,082
	ΔR_c, %	0,254	0,482	-0,126
	ΔR_{tb}, %	0,258	0,514	-0,144
Құрам №2	Δm, %	0,121	0,202	-0,088
	ΔR_c, %	0,212	0,431	-0,138
	ΔR_{tb}, %	0,216	0,469	-0,155
Құрам №4	Δm, %	0,112	0,182	-0,101
	ΔR_c, %	0,196	0,384	-0,152
	ΔR_{tb}, %	0,183	0,412	-0,175
Құрам №5	Δm, %	0,102	0,168	-0,112
	ΔR_c, %	0,186	0,358	-0,164
	ΔR_{tb}, %	0,179	0,364	-0,191

3-кестеде келтірілген эксперимент нәтижелерін талдау, №2,4,5 тиімді құрамы коррозияға төзімділігі жоғары екендігін көрсетті.

NaCl 3% ерітіндісіндегі бақылау (1-құрам) қатысты үлгілердің массасының жоғалтуы Δm – 0,121-0,102%(өсім 9,1-30,3%), ΔRc – 0,186-0,212% (өсім 19,8-36,5%) – қысу беріктігі, ΔR_{tb}–0,175-0,216% (өсім 19,4-36,9%) – иілу кезінде сәйкесінше болды.

Қышқыл коррозиясын зерттеу 0,01% HCl қышқылында ерітіндіде сақталғаннан кейін келесі өзгерістер байқалды: орташа салмағының жоғалтуы 9,4– 31,5%-ға, ΔRc қысу беріктігінің шегі 11,8–34,6%-ға; ΔRtb иілу кезіндегі созылу – 8,8% – 29,1 ға, тиісінше азайған.



Сурет 2. №1, №2, №4, №5 және бақылау құрамдардың модификацияланған бетонның иілгендегі беріктігі бойынша натрий сульфатының ерітіндісінде тұрақтылық коэффициенті

Үлгілердің 5% Na_2SO_4 ерітіндісінде сақталуы нәтижелері бойынша көрсеткіштердің жоғарылауы барлық құрамда байқалды: масса жоғалту 12,7-36,6% , ΔR_c – 9,8-30,1%- ға және ΔR_{tb} –тиісінше 7,6-32,6%-ға өсті.

Алынған оң нәтижелер бетон құрамындағы микрокремнеземнің бос Ca(OH) байланыстыратын пуццолан белсенділігінің жоғарылау фактісін дәлелдейді.

№1, №2, №4, №5 және бақылау құрамдардың модификацияланған бетонның иілгендегі беріктігі бойынша натрий сульфатының ерітіндісінде тұрақтылық коэффициенті 2-суретте келтірілген.

Механикалық активтендіру нәтижесінде күлдің гидравликалық белсенділігі бір жағынан артады, ал екінші жағынан цементтік жүйеде «микротолтырғыш эффектісі» күшейеді. Сонымен қатар гидросиликатты фазалардың түйіршіктену (нуклеация) процесі жеделдеп, бұл бетон беріктігінің артуын қамтамасыз етеді.

Микрокремнезем көлемі 5%-дан 6%-ға дейін артқан кезде бетон беріктігінің төмендеуі байқалды. Бұл құбылыс сілтілік ортаның pH көрсеткішінің 14-тен 12,5-ке дейін төмендеуімен және гидратация процестерінің катализаторы болып табылатын кальций гидроксидінің ішінара бейтараптануымен түсіндіріледі.

Тәжірибелер нәтижелері бойынша, пластификацияланған ұсақ түйіршікті бетон қоспасына «СП-1» суперпластификаторын цемент массасының 1–1,5% мөлшерінде және меншікті беті $S_{уд}$ = 15 м²/г болатын микрокремнеземді байланыстырғыш массасының 5–6% көлемінде енгізген кезде, 28 тәуліктегі қалыпты қату жағдайында иілу кезіндегі беріктік 5,4 МПа-дан 6,2–6,8 МПа-ға дейін артқаны, ал сығуға беріктік 41,1 МПа-дан 46,4–48,2 МПа-ға дейін жоғарылағаны анықталды.

Алынған тәжірибелік деректер бойынша, микрокремнезем енгізу нәтижесінде ұсақ түйіршікті бетонның су өткізбейтіндігі айтарлықтай жақсарып, W10 маркасына сәйкес деңгейге жеткені анықталды (1-кесте).

Жүргізілген зерттеу нәтижелері көрсеткендей, 28 тәулікте ең жоғары сығуға беріктік (48,2 МПа), иілуге беріктік (6,6 МПа) және жоғары су өткізбейтіндік (W10) суперпластификатор «СП-1»-ді цемент массасының 1,5% мөлшерінде (құрғақ затқа шаққанда) қолдану кезінде қамтамасыз етіледі.

Қорытынды. Зерттеу нәтижелері бойынша бетон қоспасының құрамына механоактивацияланған күлді, сондай-ақ күшті пластификациялаушы және су шығынын төмендетушіәсергеие «СП-1» суперпластификаторы (цемент массасының 1-1,5% мөлшерінде, құрғақзатқашаққанда) және ұнтақ дисперсті минералды тығыздаушы компонент ретінде микрокремнеземді (цемент массасының 5-6%) енгізу цемент шығынын үнемдеуге мүмкіндік беретіндігі анықталды. Алынған нәтижелер бетон құрамындағы микрокремнеземнің бос Ca(OH) байланыстыру үшін пуццолан белсенділігінің жоғарылауын растайды.

Осы қоспалар негізінде гидротехникалық құрылыстарды салуға арналған, жоғары беріктікке ($R_{сж28}$ = 48,2 МПа), су өткізбейтіндікке (W10), аязға төзімділікке (F300) және коррозияға төзімділікке ие ұсақ түйіршікті бетон алу мүмкін екені дәлелденді.

Сонымен қатар, бетон қоспасының құрамына базальт талшығын 7-10 кг/м³ мөлшерінде енгізу жарықшаққа төзімділікті және физика-механикалық қасиеттерін арттыруға ықпал ететіні анықталды.

Әдебиеттер тізімі

1. Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Головин С.Н., Дудник А.В., Золотухина Н.В. Эффективность суперпластификаторов в мелкозернистом бетоне с

золошлаковой смесью [Текст] // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2024. – № 8. – С. 29–38. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-29-38.
2. Sang N.T., et al. Performances of eco-fine-grained concrete containing saline sand as partial fine aggregate replacement // Journal of Applied Science and Engineering. – 2021. – Vol. 24, Issue 4. – P. 527-539.
3. Лесовик В.С., Федюк Р.С. Повышение эффективности малопроницаемых цементных композитов [Текст] // Вестник МГСУ. – 2021. – Т. 16. – № 10. – С. 1346-1356.
4. Ткач Е.В., Темирканов Р.И. Цементный бетон с улучшенными физико-механическими свойствами на основе применения активированного микрокремнезема [Текст] // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 10. – С. 289-292.
5. Муртазаев С.-А.Ю., Саламанова М.Ш. Технологические подходы к повышению качества мелкозернистого бетона [Текст] // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2024. – № 9. – С. 40–48. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-9-40-48.
6. Ткач Е.В., Темирканов Р.И., Ткач С.А. Комплексное исследование модифицированного бетона на основе активированного микрокремнезема совместно с микроармирующим волокном для повышения эксплуатационных характеристик [Текст] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 5. – С. 215-226.

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.

Материал редакцияға 14.04.26 түсті, 23.06.26 қабылданды.

А.А. Сагындыков[1], Ж.Т. Сулейменов[1], Б.А. Карымсаков[1], Д.Г. Алимкулова[1]

[1]Казахский национальный университет водного хозяйства и ирригации, Тараз, Казахстан

МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ БЕТОНЫ С ДОБАВКАМИ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРА И ЗОЛЫ-УНОСА

Аннотация. Цель исследования – разработка состава гидротехнического мелкозернистого бетона и изучение его реологических и физико-механических свойств с применением суперпластификатора «СП-1» и микрокремнезема. Исследовано влияние механоактивированной золы-уноса, микрокремнезема и суперпластификатора на технологические и физико-механические свойства мелкозернистого гидротехнического бетона. Введение в состав бетонной смеси активированной золы-уноса, суперпластификатора СП-1 и базальтового волокна в количестве 7-10 кг/м³ способствует повышению подвижности бетонной смеси (140-160 мм), прочности на сжатие (Rсж28 = 48,2 МПа), прочности на изгиб (5,4-7,7 МПа), водонепроницаемости (W10), морозостойкости (F300) и коррозионной стойкости бетона.

Ключевые слова: гидротехнический мелкозернистый бетон, суперпластификатор, прочность, морозостойкость, водонепроницаемость, микрокремнезем, коррозионная стойкость.

A.A. Sagyndykov[1], Zh.T. Suleimenov[1], B.A. Karymsakov[1], D.G. Alimkulova[1]

[1]*Kazakh National University of Water Management and Irrigation, Taraz, Kazakhstan*

FINE-GRAINED HYDRAULIC ENGINEERING CONCRETES WITH SUPERPLASTICIZER AND FLY ASH ADDITIVES

Abstract. The objective of the study was to develop a composition of hydraulic fine-grained concrete and to investigate its rheological and physicomechanical properties using the SP-1 superplasticizer and silica fume. The influence of mechanically activated fly ash, silica fume, and a superplasticizer on the technological and physicomechanical properties of fine-grained hydraulic concrete was investigated. The incorporation of activated fly ash, SP-1 superplasticizer, and basalt fiber in an amount of 7-10 kg/m³ into the concrete mixture contributes to an increase in the workability of the concrete mix (140-160 mm), compressive strength (Rc28 = 48.2 MPa), flexural strength (5.4-7.7 MPa), water resistance (W10), frost resistance (F300), and corrosion resistance of the concrete.

Keywords: hydraulic fine-grained concrete, superplasticizer, strength, frost resistance, water impermeability, microsilica, corrosion resistance.

References

1. Lukuttsova N.P., Pykin A.A., Golovin S.N., Dudnik A.V., Zolotukhina N.V. Effektivnost' superplastifikatorov v melkozernistom betone s zoloshlakovoy smes'yu [Efficiency of superplasticizers in fine-grained concrete with ash-slag mixture] // Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova. – 2024. – No. 8. – P. 29–38. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-29-38. [in Russian].
2. Sang N.T., et al. Performances of eco-fine-grained concrete containing saline sand as partial fine aggregate replacement // Journal of Applied Science and Engineering. – 2021. – Vol. 24, Issue 4. – P. 527-539.
3. Lesovik V.S., Fedyuk R.S. Povyshenie effektivnosti malopronitsaemykh tsementnykh kompozitov [Improving the efficiency of low-permeability cement composites] // Vestnik MGSU. – 2021. – Vol. 16. – No. 10. – P. 1346-1356. [in Russian].
4. Tkach E.V., Temirkanov R.I. Tsementnyy beton s uluchshennymi fiziko-mekhanicheskimi svoystvami na osnove primeneniya aktivirovannogo mikrokremnezema [Cement concrete with improved physical and mechanical properties based on the use of activated microsilica] // Innovatsii i investitsii. – 2019. – No. 10. – P. 289-292. [in Russian].
5. Murtazaev S.-A.Yu., Salamanova M.Sh. Tekhnologicheskie podkhody k povysheniyu kachestva melkozernistogo betona [Technological approaches to improving the quality of fine-grained concrete] // Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova. – 2024. – No. 9. – P. 40–48. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-9-40-48. [in Russian].
6. Tkach E.V., Temirkanov R.I., Tkach S.A. Kompleksnoe issledovanie modifitsirovannogo betona na osnove aktivirovannogo mikrokremnezema sovmestno s mikroarmiruyushchim voloknom dlya povysheniya ekspluatatsionnykh kharakteristik [Comprehensive study of modified concrete based on activated microsilica combined with micro-reinforcing fiber to improve performance characteristics] // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering]. – 2021. – Vol. 332. – No. 5. – P. 215-226. [in Russian].

МРНТИ 67.21.21

И.С. Бровко[1] – *основной автор*,
Ф.Х. Аубакирова[2], К.С. Досалиев[3], Б.К. Дуйсенбеков[4], Г.Ж. Сыпабекова[5]

©

[1]Д-р техн. наук, профессор, [2]Канд. техн. наук, доцент, [3]PhD, зав.кафедрой, [4]PhD, профессор, [5]Ст. преподаватель

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0003-3597-5804 [2]https://orcid.org/0000-0002-4687-1528 [3]https://orcid.org/0000-0002-5423-9231 [4]https://orcid.org/0000-0002-3476-5218 https://orcid.org/0009-0003-6005-6006*

[1,2,3,4]Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
[5]Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан

@ *[2]faraub1011@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/GEWQ2137

ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА ДИНАМИЧЕСКИ РАЗЖИЖАЕМЫХ ГРУНТАХ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Аннотация. В статье приведены физические основы механизма разжижения грунта при сейсмических воздействиях, которые основаны на анализе мировых достижений. Выделены регионы потенциально подверженные разжижению грунта, в том числе на территории Республики Казахстан. Проанализированы геологические условия ряда объектов на территории Казахстана на предмет их сходимости с условиями строительства в префектуре Ниигата (Япония), где при разрушительном землетрясении велись натурные наблюдения, положенные в основу комплексной оценки разжижения грунта. Приведены основы метода теоретического определения потенциального разжижения грунта и их современная трактовка с учетом требований международных стандартов. Дана оценка роли: Стандартных пенетрационных испытаний SPT (Standard Penetration Test), Статического зондирования CPT / CPTu (Cone Penetration Test) и метода «Скорость поперечной волны» V_s (Shear Wave Velocity) для реальной оценки возможности разжижения основания и необходимой в практике минимальной комбинации этих методов. Рекомендованы методы по усилению оснований и типы фундаментов для обеспечения безопасного строительства при динамическом разжижении грунтов.

Ключевые слова: геологические условия, сейсмическая нагрузка, сдвиговая волна, динамическое разжижение грунта, сопротивление грунта разжижению, пенетрация, зондирование, объемное сжатие, усиление основания, безопасное строительство.

Бровко, И.С. Основы безопасного строительства на динамически разжижаемых грунтах Республики Казахстан [Текст] / И.С. Бровко, Ф.Х. Аубакирова, К.С. Досалиев, Б.К. Дуйсенбеков, Г.Ж. Сыпабекова // Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №2(92). – С.324-341. https://doi.org/10.55956/GEWQ2137

Введение. Современные требования высоких темпов возведения зданий и сооружений самого разного предназначения в зонах сейсмической активности предопределяет необходимость всестороннего изучения комбинаций статического и динамического приложения нагрузки к основаниям, что является основой для составления представлений о напряженно-деформируемом состоянии как в самих грунтах, так и в надземных конструкциях. В этом плане очень важным моментом является воздействие грунтовой дисперсной среды, в которой при землетрясениях возникает фронт сейсмических волн, вызывающий их объемное сжатие. Сейсмические воздействия характеризуются определенной цикличностью и значительной скоростью при которых фактически отсутствует возможность рассеивания порового давления. В результате чего происходит его накопление и контакт между минеральными частицами скелета грунта резко снижается. По этой причине грунт переходит в текучее состояние, что приводит к снижению его несущей способности и может вызвать очень серьезные повреждения возведенных зданий и сооружений [1-9].

Учеными разных стран [10-18] отмечается, что это крайне опасное явление, получившее название «динамическое разжижение», реализуется в полностью водонасыщенных малосвязных грунтах, и в первую очередь в песках. Следует отметить, что если полного водонасыщения не наблюдается, то увеличение порового давления будет недостаточно и вероятность возникновения динамического разжижения будет пренебрежимо мала. На настоящее время разработаны разные подходы решения этой проблемы, которые будут рассмотрены ниже.

Условия и методы исследований. Один из самых детальных анализов механизма разжижения грунтов с привязкой к реальным условиям землетрясения, выполнен японскими учеными и описан проф. К. Ишихара [10] по результатам комплексных исследований в префектуре Ниигата в пойме рек Агано и Шинано. Произошедшее сильнейшее землетрясение (магнитудой М=7,5) с последующим разжижением грунта привело к значительному ущербу: разрушены объекты городских построек с характерной формой потери ими устойчивости в виде кренов в сторону их центра тяжести. Более 300 зданий наклонилось на угол порядка 30 градусов и получили сейсмопросадку до 5 м [5,10]. Кроме этого, отмечено всплытие подземных коммуникаций и заглубленных емкостей, колодцев и т. д., которые переместились по вертикали на 1-2 м выше поверхности земли. Натурные обследования показали, что фундаменты разрушенных объектов не опирались на твердые грунты. Причины и механизм разжижения грунта оценивались разными методами: стандартным зондированием; испытаниями голландским конусом; отбором грунтов ненарушенной структуры ниже уровня подземных вод с последующим испытанием в приборах трехосного сжатия на циклические нагрузки. Для отбора монолитов грунта использовались грунтоносы большого диаметра и грунтонос Остерберга. По результатам испытаний на циклическую прочность было показано, что области разжижения песка имеют обширное распространение и в глубину достигли 13 м, что хорошо согласуется с перемещением поверхности грунта во время землетрясения. Значительную ценность представляют собой акселерограммы горизонтального ускорения и другие показатели, полученные в уровне подвала 4-этажного железобетонного здания во время землетрясения. Данное здание находилось на расстоянии 50 м. от площадки Кавагишичо, где здания осели или опрокинулись. Исследованиями

установлено, что основание в данном месте сложено рыхлыми песками на глубину порядка 10 м. Максимальные реальные величины ускорений, зафиксированные в направлении «восток-запад» составили – 159 м/с² и в направлении «север-юг» – 155 м/с². В [10] приведено большое количество научной информации, которая максимально полезна для прогноза последствий возможных землетрясений как в данном регионе, так и в других со сходными условиями.

Результаты исследований и обсуждение. Мировой опыт решения задач, связанных с вопросами сейсмоустойчивости строительных объектов, в том числе с учетом оценки возможного динамического разжижения грунтов оснований, свидетельствует об их большой сложности и многофакторности в зависимости от региональных геологических особенностей и специфики возводимых сооружений. Историческими наблюдениями за наиболее мощными землетрясениями выявлены регионы с высокой сейсмической опасностью. Землетрясениям подвержены огромные территории, расположенные на разных континентах. Стабильно подземные толчки на протяжении длительного времени наблюдаются вдоль всего побережья Тихого океана, в так называемом Альпийском поясе, который распространяется от Индонезии до Средиземного моря, в Северной и Южной Америке, Индии, Центральной Азии, Вьетнаме, Китае и т.д.

Подробнее остановимся на центральноазиатском регионе, его геологических и гидрогеологических особенностях с целью прогноза поведения грунтовых оснований и безаварийной эксплуатации строительных объектов. Сложные, с точки зрения их склонности к динамическому разжижению, участки залегания обводненных, малосвязных грунтов встречаются практически повсеместно. В Республике Казахстан они фрагментарно дислоцируются как в крупных городах: Алматы, Шымкент, Туркестан, Тараз, Кызылорда и т.д., так и в более мелких населенных пунктах. Актуальность данной проблемы неправомерно связывать только с городскими объектами строительства, так как в южном Казахстане на территориях пустынного и полупустынного типа, где ранее строительство велось не так активно, развивается сопутствующая инфраструктура в связи с:

– добычей полезных ископаемых – Кумкольское месторождение нефти с запасами 41 млн. тонн, расположенное в 200 км от г.Кызылорда; природного урана в Сузакском районе Туркестанской области. Данное месторождение оценивается, как одно из крупнейших в мире. Расстояние до Кызылорды напрямую составляет порядка 300 км;

– эксплуатацией особо ответственного сооружения – космодрома Байконур, расположенного в 192 км от г. Кызылорда. Площадь этого комплекса составляет 6717 кв. км. Здесь функционируют 4 стартовых и 34 технических комплекса, проложено 470 км железнодорожных, 1281 км автомобильных путей, 2784 км линий связи. Рядом расположен одноименный город;

– функционированием гидротехнических сооружений – Богенское (площадью 65 км² и объемом воды 377 млн.м³) и Шардаринское (площадью 783 км², полным объёмом воды 5,7 км³) водохранилища, Коксарайский контррегулятор (с объёмом воды 3 млрд.м³), а также Камбартинское и Алакское водохранилища, расположенные от г. Кызылорда на расстоянии 40-70 км.

Как видно из локации приведенных объектов, «привязка» в основном осуществлена к г. Кызылорда, где природно-геологические и сейсмологические условия сходны с префектурой Ниигата (Япония). В городе на протяжении 76 км. с юго-запада на северо-восток протекает р. Сырдарья, где уровень воды напрямую связан с обводнением прилегающих территорий. Изучив и систематизировав явления динамического разжижения грунта в этом регионе с учетом богатого фактического научного материала японских ученых в условиях реального землетрясения, полученные выводы можно будет распространить на огромные территории с аналогичными условиями, размеры которых сопоставимы с некоторыми европейскими государствами. Имеется в виду то, что на Сырдарье расположены города сопредельных государств центральной Азии: Гулистон, Худжанд (Таджикистан); Сырдарья, Бекабад (Узбекистан), а также более мелкие, по сравнению с вышеперечисленными городами Казахстана – Джусалы, Казалинск и т.д. Аналогичные условия прослеживаются в пойме судоходной реки Амударья в этом же регионе, протяженность которой 2400 км. и площадь бассейна 535 км². Также, в этом контексте, можно рассматривать г. Капшагай Алматинской области, где при оценке условий капитального ремонта автодорог 8-10 микрорайонов отмечается, что в основании на разных участках залегают пески от пылеватого до крупного. Грунтовые воды могут располагаться на глубине 0,5 м. Местами местность заболочена, что тесно связано с уровнем Капшагайского водохранилища (длина 100 км, ширина 25 км.). Сейсмичность в г. Капшагай – 8 баллов. Масштабность территорий и сложные условия строительства [19] не оставляют сомнений в необходимости исследований возможного разжижения грунта в этих сейсмически опасных зонах. Хотя до настоящего времени в перечисленных регионах случаи аварий зданий по этой причине не отмечались, но с учетом непредсказуемости и разрушительных последствий сейсмических явлений превентивные меры необходимы.

Кратко остановимся на геологических условиях данного региона по результатам работ местных изыскательских организаций и [20] по некоторым возводимым объектам, акцентируя внимание на слоях, склонных к динамическому разжижению.

*Объект 1 - «Завод»** в г. Кызылорда. Геологическими исследованиями на глубину 6,0-30,0 м. по литологическим особенностям и физико-механическим свойствам выделены следующие инженерно-геологические элементы. ИГЭ-1: слой песка пылеватого с частыми прослоями песка мелкого, вскрытой мощностью 1,20-17,0 м; ИГЭ-2: слой глины, мощностью 2,80-8,30 м; ИГЭ-3: слой суглинка мощностью 1,20-4,00 м. В перечисленном напластовании наиболее опасным, с точки зрения возможного разжижения, является песок пылеватый с частыми прослоями песка мелкого и линзами суглинка. Гранулометрический состав и физико-механические свойства этого грунта приведены ниже в табличном виде (табл. 1,2).

Таблица 1

Гранулометрический состав грунта объекта 1

ИГЭ	Фракции, мм						
	Содержание, %						
	60-10	10-2	2,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	Менее 0,05
ИГЭ-1 Песок	-	0,2	6,0	16,0	44,4	28,9	4,5

Примечание 1. Все объекты названы условно с целью соблюдения корпоративной этики.

Таблица 2

Физико-механические характеристики грунта объекта 1

ИГЭ	Ps, г/см³	P, г/см³	Pd, г/см³	W, д.е.	e, д.е.	Sr, д.е.	Кф, м/сут	φ, град.	C, МПа	E, МПа
ИГЭ-1	2,67	1,67	1,50	0,149	0,787	0,409	7,898	26	0,002	18

Сейсмическая опасность зоны строительства согласно нормативных документов приведена в таблице 3.

Таблица 3

Сейсмическая опасность зоны строительства объекта 1

Населенный пункт	Интенсивность в баллах по шкале MSK-64(K) по картам сейсмического зонирования	
Кызылорда	ОСЗ - 2_{475}	ОСЗ - 2_{2475}
	6	7

Территория завода, согласно СП РК 2.03-30-2017 (Приложение Б) находится в сейсмоопасной зоне с ускорением 0,025g, согласно карты общего сейсмического зонирования ОСЗ-1_{475} и 0,051g – по карте ОСЗ-1_{2475}. Участок строительства классифицируется, как потенциально подтопляемый за счет фильтрационных вод реки Сырдарья с установленным уровнем 2,2-4,0 м от поверхности земли.

Объект 2 – «Парк». Участок площадью 27,5 га, дислоцированный в г. Кызылорда, обследован с целью развития генплана. Изучение геологических данных, полученных в 2025 г. показало, что потенциально разжижаемыми слоями в данном случае являются ИГЭ-2: песок пылеватый и ИГЭ-3: песок мелкий. Эти слои по влажности находятся в диапазоне от маловлажного до водонасыщенного состояния, по плотности – рыхлые. По гранулометрическому составу и физико-механическим характеристикам имеют некоторые отличия (табл. 4, 5). Вскрытая мощность ИГЭ-2: 2,5-9,9 м, ИГЭ-3: 5,0-20,0 м.

Таблица 4

Гранулометрический состав грунта объекта 2

ИГЭ	Фракции мм					
	Содержание, %					
	60-10	10-2	2,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05
ИГЭ-2 Песок пылеватый	-	-	-	3	44	53
ИГЭ-3 Песок мелкий	-	-	1	18	67	14

Расчетные показатели при доверительной вероятности 0,85 и 0,95 представлены в таблице 5. Сейсмическая опасность зоны строительства согласно нормативных документов приведена в таблице 6.

Таблица 5

Физико-механические характеристики грунта объекта 2

ИГЭ	Ps, г/см³	P, г/см³	Pd, г/см³	W, д.е.	e, д.е.	Sr, д.е.	Кф, м/сут.	φ, град.	C, КПа	E, МПа
ИГЭ-2	2,69	1,76	1,41	23,9-27,6	0,92	0,62-0,86	0,12-1,34	22-24	1-0	13,6
ИГЭ-3	2,68	1,63	1,44	12,4-14,2	0,92	0,39-0,44	2,98-12,38	24-24	0	18,7

Таблица 6

Сейсмическая опасность зоны строительства объекта 2

Населенный пункт	Интенсивность в баллах по шкале MSK-64(K) по картам сейсмического зонирования	
Кызылорда	ОСЗ - 2_{475}	ОСЗ - 2_{2475}
	7	8

Объект 3 – «Больница». Площадка строительства сложена тремя инженерно-геологическими элементами. ИГЭ-1: суглинок тяжелый, пылеватый мощностью 6 м, текучий. ИГЭ-2: песок мелкий средней плотности с прослоями суглинка и супеси, с глубины водонасыщенный, мощностью 22,5 м. ИГЭ-3: суглинок твердой консистенции непросадочный, толщиной 1м. Грунтовые воды вскрыты на глубине 3,0-4,2 м от поверхности земли. Источником питания является река Сырдарья, коэффициент фильтрации ИГЭ-2 составляет 5,5 м/сут. Площадка оценивается, как потенциально подтопляемая. Рассматривая основание с точки зрения потенциально возможного динамического разжижения грунта, можно сказать, что таким слоем является ИГЭ-2. Данные гранулометрического состава этого песка в первоисточнике не найдены, физико-механические характеристики приведены в таблице 7, сейсмическая опасность данной площадки в таблице 8.

Таблица 7

Физико-механические характеристики грунта объекта 3

ИГЭ	Ps, г/см³	P, г/см³	Pd, г/см³	W, д.е.	e, д.е.	Sr, д.е.	Кф, м/сут	φ, град.	C, КПа	E, МПа
ИГЭ-2	-	1,92-1,89	-	-	-	-	5,5	33,1-31,4	-	20,6

Таблица 8

Сейсмическая опасность зоны строительства объекта 3

Населенный пункт	Интенсивность в баллах по шкале MSK-64(K) по картам сейсмического зонирования	
Кызылорда	ОСЗ - 2_{475}	ОСЗ - 2_{2475}
	7	8

На данном объекте выполнено 6 испытаний методом динамического зондирования с целью установления возможности разжижения грунта.

Объект 4 – «Капитальный ремонт улиц в г. Капшагай Алматинской области» выполнялся с целью повышения безопасности и оптимизации автомобильного движения**.** В ходе изысканий в основании выделено три геологических элемента. ИГЭ-1,2: пески пылеватые маловлажные; ИГЭ-3:

песок средней крупности маловлажный, с глубиной переходящий в водонасыщенное состояние; ИГЭ-4: песок крупный от маловлажного до водонасыщенного. Грунтовые воды по ряду скважин (3, 4 и т.д.) обнаружены на глубине 0,5 м. Амплитуда колебания уровня грунтовых вод зависит от наполняемости Капчагайского водохранилища. Некоторые улицы находятся в непосредственной близости от заболоченной местности. С учетом специфики дорожного строительства, к сожалению, не приводится ряд физико-механических данных по основаниям, необходимым для промышленного и гражданского строительства.

Совокупность таких признаков как: высокий уровень грунтовых вод, высокая сейсмичность района ведения работ (8 баллов), сложение оснований песчаными грунтами, характеризующимися малой связностью и невысокой плотностью (ρ=1,60 г/см³ для всех слоев), позволяет предположить , что основания всех этих обширных территорий при возведении строительных объектов следует оценивать на предмет их отношения к потенциально разжижаемым при динамических воздействиях.

В таких условиях на начальном этапе строительства первостепенным является вопрос выбора методики оценки разжижения грунта при сейсмических воздействиях. От того, разжижаемый это грунт или нет, зависит принятие соответствующих инженерных мероприятий, значительно влияющих на стоимость строительства. В разное время этот вопрос исследовался и нашел отражение в трудах [10-13, 15-18]. К. Ишихара [10] указывает, что основы теоретического метода оценки потенциального разжижения малосвязных грунтов заложены в трудах Идрис, Сид [11], для этого подсчитывается коэффициент запаса F_ℓ по формуле (1):

$$F_\ell = \frac{\tau_{max,\ell}/\sigma'_v}{\tau_{max}/\sigma'_v} = \frac{\tau_{a\,v,\ell}/\sigma'_v}{\tau_{a\,v}/\sigma'_v} \quad (1)$$

где $\tau_{a\,v}/\sigma'_v$ – относительное эквивалентное напряжение для выражения прикладываемых напряжений; $\tau_{a\,v,\ell}/\sigma'_v$ – относительное эквивалентное напряжение для выражения соответствующей прочности.

В случае, когда коэффициент F_ℓ равен или меньше единицы, то происходит динамическое разжижение, противном случае – нет.

В данном методе [10] исходят из предположения, что при землетрясении сдвиговая волна подходит снизу, вызывая горизонтальное перемещение некоторой призмы грунта высотой z. При этом максимальное касательное напряжение τ_{max} по основанию этой призмы составит

$$\tau_{max} = \frac{a_{max}}{g} \cdot \gamma \cdot z \cdot r_d \quad (2)$$

где $a_{\max}$ – пиковое (максимальное) значение горизонтального ускорения; γ – удельный вес грунта; g – ускорение свободного падения; r_d – коэффициент уменьшения напряжений, допускающий деформируемость грунтовой колонны, величина которой меньше единицы.

Этот важный параметр r_d Сид и Идрисс в [12] приводят в графической форме. Ивасаки [11], преобразовав (2), рекомендовал использовать эмпирическую формулу

$$\frac{\tau_{max}}{g} = \frac{a_{max}}{g} \cdot r_d \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \quad (3)$$

где $\sigma_v = \gamma \cdot z$ – полное вертикальное напряжение; σ'_v – поровое давление.

Посредством уравнения (3) возможно определение касательных напряжений в горизонтальной плоскости толщи грунта, вызванного сейсмической нагрузкой, исходя из горизонтального ускорения, которое может быть замерено на поверхности. Несмотря на дальнейшие корректировки и вносимые уточнения, методика оценки разжижения грунта успешно используется вплоть до настоящего времени, особенно для предварительных расчетов. Приведенные формулы являются классическим инструментом, необходимым для определения вертикальной осадки грунтовой поверхности после того, как установлен факт возможности разжижения грунта. Концепция, изложенная в [10], в целом сводится к следующему: предложен эмпирический метод вертикального перемещения слоя разжижаемого грунта, базирующегося на результатах статического зондирования (CPT), которые коррелируются с объемной деформацией сдвига (γ_v). Испытания CPT проводят по всей требуемой толщине основания, что отражает плотность (жесткость) грунта в естественном состоянии. Для оценки разжижения грунта также необходимы: наибольшее горизонтальное ускорение a_{max} на данной строительной площадке и магнитуда землетрясения Mw, а так же геостатическое давление. По действующим картам сейсмического районирования a_{max} и Mw можно определить для данного района строительства. Геостатическое давление обусловлено полным вертикальным и поровым давлением. При этом, Mw и a_{max} - это характеристики землетрясения, а геостатическое давление отражает внутреннее состояние грунтового массива. Совместный учет этих факторов позволяет оценить: а) меру разжижаемости (методика описана выше); б) величину осадки слоя грунта, которая находится следующим образом

$$S = \int \varepsilon_v \, dz \approx \int \gamma_v / 3 \, dz \qquad (4)$$

где: S – полная вертикальная осадка после землетрясения; ε_v – вертикальная деформация (осадка) элементарного слоя грунта; γ_v – объёмная сдвиговая деформация, рассчитывается по формуле (5); dz – элементарная толщина слоя.

В приведенной формуле (4) представлена зависимость интегральной осадки от распределения сдвиговых деформаций по глубине. Это определяющий момент теории К. Ишихара. Из него следует, что общая осадка поверхности суммируется из деформаций элементарных слоев в пределах сжимаемой толщи. Для связи объемной сдвиговой деформации (γ_v), являющейся мерой интенсивности циклового воздействия с вертикальной осадкой (ε_v) используется геометрическое соотношение для условий простого сдвига в приборе трехосного сжатия. Это приближение позволяет перейти от сдвиговой деформации к интересующей нас вертикальной осадке.

Ключевым моментом данного метода [10] является определение объемной сдвиговой деформации γ_v:

$$\gamma_v = 1/50 \, \tau_{max} \, q_c (1 - \tau_{max} / \tau_f) \qquad (5)$$

где: q_c – сопротивление конуса в условиях статического зондирования (CPT), по данным полевых испытаний; τ_{max} – максимальное касательное напряжение, вызванное землетрясением, определяемое по следующей формуле

$$\tau_{max} = 0{,}65 \cdot (a_{max} / g) \cdot \sigma_{v0} \cdot r_d \quad (6)$$

где: τ_f – статическая прочность грунта на недренированный сдвиг; σ_{v0} – суммарное вертикальное напряжение от веса вышележащих грунтов на глубине z; r_d – коэффициент уменьшения касательных напряжений с учетом изменчивости и глубины грунта (≤ 1.0).

Основные концепции расчета, предложенные К. Ишихара [10] в современных условиях получили дальнейшее развитие на основе применения более сложных моделей, смысл которых изложен в работах [16,17]. Они так же базируются на данных CPT, но с добавлением большего количества факторов.

Следует отметить, что определение основных параметров теории разжижения грунта постоянно совершенствуется, в него вносятся уточняющие данные, включенные в новые нормативные документы. Реальная ситуация выглядит следующим образом: в Казахстане в данное время используются Нормы технологического проектирования сейсмостойких объектов (НТП РК 08-01.1-2017), которые в соответствии с «Дорожной картой по внедрению ЕСК РК», утвержденной Комитетом по делам строительства и ЖКХ МИИР РК в 2026 г. будут заменены актуализированной редакцией, реализованной в ЕСК РК (Единых строительных правилах Республики Казахстан). Этот новый нормативный документ РК гармонизирован с международными стандартами, в первую очередь, с Еврокодом 8 (EN 1998-5:2004 «Design of structures for earthquake resistance. Foundations, retaining structures and geotechnical aspects»), отчетом Национального центра исследований землетрясений США NCEER (Youd et al., 2001, 2015) и стандартами ASCE/SEI.

Рекомендуемый в этих нормативах метод считается упрощенным и заключается в сравнении циклического сопротивления грунта разжижению (CRR) с сейсмической нагрузкой, выраженной через циклическое касательное напряжение (CSR). Разжижение считается возможным, если:

$$CSR > CRR \cdot MSF \cdot K_\sigma \cdot K_\alpha \cdot K_{DR} \quad (7)$$

где определение CSR основано на упрощенной процедуре, предложенной в [12], и развитой в современных рекомендациях [18].

$$CSR = 0{,}65\ (a_{max} / g)\ (\sigma_{v0} / \sigma'_{v0}) \cdot r_d \quad (8)$$

где: 0.65 – эмпирический коэффициент редукции, который учитывает цикличность пикового напряжения; a_{max} – максимальная величина горизонтального ускорения на поверхности грунта; g – ускорение свободного падения.

На практике базовая величина CSR корректируется в зависимости от особенностей региональных условий путем добавления ряда новых коэффициентов:

MSF- коэффициент приведения к реальной магнитуде землетрясения Mw;

K_σ – коэффициент, учитывающий влияние высокого эффективного напряжения (на большой глубине) на сопротивление разжижению;

K_α – коэффициент, учитывающий наклон поверхности или начальные статические касательные напряжения в грунте (например, в откосах).

CRR определяется по данным стандартных пенетрационных испытаний (SPT, CPT, Vs), корректируется на содержание мелких частиц (FC). K_{DR} является коэффициентом относительной плотности, в расчетах он часто опускается, так как плотность уже является основным параметром в CRR.

Ключевыми методами, которые позволяют оценить важнейший параметр - циклическое сопротивление разжижению (CRR), являются:

А) SPT – стандартное пенетрационное испытание осуществляемое посредством определения сопротивления, которое оказывает грунт погружению ударами молота пробоотборника. Предварительно на требуемую глубину пробуривается скважина, на дно которой погружают стандартный пробоотборник. По замеряемому количеству ударов для погружения пробоотборника на 30 см. получают, так называемое «сырое NSPT», значение которое в дальнейшем требуют корректировки из-за применяемого типа оборудования, в частности энергии удара молота**.** Для этого производится приведение к стандартной энергии и эффективному напряжению путем несложных математических преобразований**.** Метод SPT можно характеризовать**,** как самый распространенный ввиду его относительной дешевизны, незначительной трудоемкости, высокой мобильности в пределах строительной площадки, что позволило накопить по отдельным регионам исчерпывающую базу данных. К его недостаткам относится значительная дисперсия получаемых результатов и недостаточно точная детализация по глубине.

Б) CPT / CPTu – статическое зондирование, которое осуществляется посредством непрерывного вдавливания в исследуемой точке электронного зонда с наконечником в виде конуса стандартных размеров. В процессе испытаний, которые считаются относительно быстрыми, строится достаточно детальный геологический профиль основания с возможностью измерения порового давления (CPTu).

Для оценки разжижения $(q_{c1N})cs$ необходимы замеры следующих параметров: q_c - общее сопротивление конуса, f_s - сопротивление трения на муфте, u - поровое давление (в случае CPTu). Далее посредством корректировки полученных результатов зондирования на: нормирование на напряжение, на тип грунта (индекс поведения грунта I_c), приведение к «чистому» песку $(q_{c1N})cs$ посредством эмпирических кривых [15,17], определяют $CRR_{7.5}$. В качестве недостатков этого метода отмечают, что он дороже SPT, отсутствует возможность визуализации испытанных образцов грунта и осложняется интерпретация полученных результатов в слоистых (неоднородных) основаниях.

В) V_s - скорость поперечной волны. Этот метод, основанный на замере скорости распространения поперечных (сдвиговых) волн в грунтовом массиве, напрямую характеризует его жесткость. Последующая, после замера скорости, корректировка на нормирование на напряжение и на содержание мелких частиц и использование эмпирических кривых (Andrus & Stokoe), позволяют получить искомое значение $CRR_{7.5}$.

В практике строительства, особенно на начальных этапах, наиболее часто используется SPT, как наиболее доступный и простой метод с возможностью получения образцов грунта с разной глубины основания для детальных визуальных и лабораторных исследований, в том числе и определения гранулометрического состава. Однако, для ответственных сооружений, в силу вышеизложенных причин, одного этого или любого другого отдельно взятого метода недостаточно. Поэтому, для повышения

надежности определения риска разжижения необходима комбинация из не менее двух независимых методов (например, CPT+SPT или CPT+V_s), выбор которых может быть осуществлен в соответствии с таблицей 9.

Таблица 9

Методы измерений и их основные параметры

Метод	Измеряемая величина	Основной параметр	Детальность	Главное преимущество
SPT	Ударное сопротивление	$(N_1)_{60}$	Точечная, через1-1.5 м	Большая база данных, простота
CPT / CPTu	Непрерывность по глубине	$(q_{c1N})cs$	Высокая	Объективность, поровое давление
V_s	Скорость упругой волны	V_{s1}	Точечная или усредненная	Прямая связь с динамическими свойствами

Далее остановимся на изменениях в подходах к вопросу оценки разжижения грунта при переходе от действующих в Казахстане норм (НТП РК) к ЕСК РК (2026 г.). В НТП РК метод SPT принимается как основной, а роль CPT и V_s оценивается как второстепенная. В новой трактовке, согласно ЕСК РК, SPT продолжает оставаться одним из основных методов, но применяемое оборудование подвергнется строгой регламентации в части калибровке энергии (ERM, Energy Ratio Measurement) с обязательными корректировками: на энергию (до N_{60}), на эффективное напряжение (до $(N_1)_{60}$) и на содержание мелких частиц (FC). Для получения CRR по $(N_1)_{60}$ станет необходимым использование единых формул и корреляционных кривых. Испытания CPT/CPTu получают статус равноценных с SPT, а иногда и предпочтительных.

Скорость поперечной волны V_s трактуется как самостоятельный метод. В этом состоит его основное достоинство.

Анализ состояния вопроса безопасного ведения строительства на грунтах, склонных к динамическому разжижению при циклических нагрузках, свидетельствует о необходимости соблюдения объективных требований правильности оценки этого явления и применения методов подготовки оснований и устройства хорошо адаптированных типов фундаментов в таких условиях. Предшествующий научный и производственный опыт показывает, что при устройстве подземных конструкций зданий и сооружений для достижения полной безопасности нельзя ограничиваться только одним, даже очень хорошим методом фундирования. Необходим комплексный подход, состоящий из двух стратегий: 1) усиление грунта для его стабилизации; 2) устройство фундаментов, обеспечивающих необходимую несущую способность в пределах допустимых деформаций оснований с учетом фактора динамического разжижения грунта. В настоящее время известно много вариантов как по усилению оснований, так и по методам устройства фундаментов, среди которых по адекватному инженерному анализу для конкретных условий строительства необходима соответствующая оптимальная комбинация из подходящих строительных технологий.

Кратко остановимся на методах, наиболее приемлемых к рассматриваемому случаю, в части усиления оснований.

1. Глубинное виброуплотнение. Направлено на достижение такого состояния водонасыщенных песков, при котором они теряют способность к разжижению (до достижения относительной плотности Dr > 75-80%). Такого результата можно добиться: а) методом виброфлотации, который предусматривает погружение вибратора с одновременным подмывом нижележащего основания. Технология наиболее эффективна для чистых песков; б) уплотнение виброкатком. Характеризуется как наиболее экологичный подход; в) глубинное виброуплотнение может осуществляться попеременным погружением и вытаскиванием вибробулав. Этот способ дает наибольшее проникновение в глубину уплотняемого массива. Или ударами по поверхности грунта тяжелыми трамбовками, сбрасываемыми с достаточной высоты, которые наиболее эффективны при уплотнении больших производственных площадей. Перечисленные методы позволяют достичь высокой надежности, но требуют подтверждения качества производства работ.

2. Цементация применяется как метод создания армирующих конструкций в разжижаемом грунте. Чаще всего это вертикальные или наклонные элементы, которые способны воспринимать нагрузку от вышерасположенных конструкций зданий или сооружений и передавать ее на более прочные нижерасположенные основания. При этом деформации создаваемого комбинированного основания, по сравнению с первоначальным состоянием природного грунта, значительно уменьшаются. Чаще всего для этого используются следующие технологии: а) струйная цементация, где используется высоконапорная струя воды для разработки скважины в грунте с последующим заполнением ее твердеющим цементно-песчаным раствором. Отмечается высокая эффективность, но, вместе с тем дороговизна; б) устройство грунтоцементных опор, основной особенностью которой является использование местного грунта в качестве заполнителя, при перемешивании его с цементом и водой (или без воды) непосредственно на месте устройства. Этот метод расценивается прежде всего как метод армирования грунтов вертикальными цилиндрическими элементами с повышенными строительными качествами; в) устройство каменных столбов в грунте. Достигается за счет замены слабого грунта щебнем или гравием. Отличается возможностью обеспечения дренажа, что положительно при возможном динамическом разжижении.

3. Дренирование. Позволяет предотвратить повышение давления поровой воды при землетрясениях путем ее ускоренного отвода. Дрены могут быть изготовлены из разных материалов, например, песка, щебня, гравия, композитных материалов и т.д. Они наиболее эффективны при низкой скорости нагружения оснований. Необходим расчет времени на основе теории фильтрационной консолидации.

4. Устройство искусственных грунтовых подушек. Служит заменой природным разжижаемым грунтам и предпринимается как компенсационная мера по снижению деформаций основания и удалению лишней воды при сейсмических воздействиях. Эффективно при наличии на близком расстоянии от строительного объекта альтернативного вида грунта взамен природному. Требуется послойное уплотнение с подтверждением качества выполненных работ.

По части выбора типа фундамента на разжижаемых грунтах можно отметить следующее. Этот аспект выходит на первое место, когда усиление грунта по каким-либо причинам неосуществимо или экономически

невыгодно. В результате анализа существующего опыта установлено, что наиболее надежными проявили себя фундаменты а) глубокого заложения, б) плитные конструкции и в) фундаменты, обеспечивающие сейсмоизоляцию зданий.

А) Свайные фундаменты, относимые к типу фундаментов глубокого заложения, кроме своей обычной функции передавать нагрузку на глубоко расположенные малосжимаемые или несжимаемые породы, в разжижаемых грунтах должны учитывать боковое растекание. Оно выражается не только в потери части сопротивления по боковой поверхности в разжиженном слое, но и в дополнительных нагрузках, таких как: горизонтальное давление, аналогичное, как от тяжелой жидкости; отрицательное трение от сейсмопросадки; и изгибающих моментных нагрузок, вызванных поперечными подвижками разжижающегося грунта, требующие повышенного армирования.

Б) Плитные фундаменты значительной жесткости. Сооружаются под всем зданием сразу и приводят к эффекту «Плита-мат». Аналогично плавающему плоту, такая конструкция частично гасит нагрузки и перераспределяет (сглаживает) неравномерные деформации основания. Тем самым улучшая пространственную устойчивость зданий. Обязательным условием применения такой конструкции фундамента является точный расчет с условием, что ожидаемые осадки и их перепады не приведут к критическим напряжениям в конструкциях.

В) Сейсмоизолирующие фундаменты. Включают в себя специально разработанные узлы (пружинного типа, резино-стальные сейсмопротекторы и т.д.), обеспечивающие полное или частичное разделение работы фундаментов и надземных конструкций зданий при сейсмических нагрузках. Подтверждают свою высокую надежность, но являются дорогими, как в устройстве, так и в проектировании. Зачастую необходимы специальные материалы из специальных марок стали, резины и т.д.

Резюмируя, приведем некоторые критерии выбора рационального метода устройства фундаментной части зданий и применяемые комбинации «усиление основание - рациональный тип фундамента» исходя из мировой практики строительства на разжижаемых грунтах:

- при глубине разжижаемого слоя 5-7 м эффективно его уплотнение. При больших глубинах - цементация и сваи;
- большая чувствительность конструкции строительного объекта к деформациям вызывает необходимость более строгих методов решения. То же самое можно констатировать и по уровню сейсмичности площадки строительства;
- применение дренирования становится мало эффективным по мере возрастания гидравлического градиента в потоке подземных вод;
- экономическая целесообразность применяемых геотехнологий существенно зависит от наличия спецтехники, отработанности технологических операций и адаптированности к местным условиям строительства.

Для ответственных сооружений (АЭС, высотные здания, торговые или больничные комплексы и т.д.) необходима максимальная надежность, которая обеспечивается следующей комбинацией, называемой «золотой стандарт»: усиление основания цементацией (Jet Grouting или Deep Soil Mixing) - глубокие сваи - жесткая ростверковая плита. Для объектов промышленного или гражданского назначения, располагаемых на больших

площадях рациональным и надежным решением будет сочетание виброуплотнения или каменных опор с плитным фундаментом. Для мостов, эстакад, портовых сооружений - глубокие сваи, рассчитанные на боковое давление и просадку, с усиленным армированием в зоне возможного разжижения.

З**аключение.** Опытом многочисленных исследований, проведенных в разных частях земного шара с высокой и повторяющейся сейсмической активностью, установлено, что в водонасыщенных грунтах, характеризующихся малой связностью, возникает опасное для строительных объектов явление – разжижение, при котором грунт переходит в более текучее состояние, что может вызвать серьезные повреждения возведенных зданий и сооружений.

При одном из катастрофических землетрясений магнитудой M=7,5, произошедшего в префектуре Ниигата (Япония), непосредственно в зоне разрушений были проведены ряд натурных измерений, в частности - акселерограммы горизонтального ускорения, зафиксированы максимальные реальные величины ускорений по направлениям, отобраны образцы грунта с последующим испытанием их в приборах трехосного сжатия и т.д. То есть получен богатый фактический материал, который лег в основу создания обоснованной научной теории, которая максимально полезна для прогноза и последствий возможных землетрясений и возведения сейсмостойких строений, как в данном регионе, так и в других, со сходными условиями.

На основании анализа геологических, гидрогеологических и сейсмических условий строительства ряда новых и эксплуатации возведенных объектов, в том числе повышенной ответственности, в Казахстане выделены регионы, потенциально подверженные динамическому разжижению грунта. Масштабность территорий и сложные условия строительства не оставляют сомнений в необходимости учета возможного разжижения грунта в этих сейсмически опасных зонах.

Очень важную роль играет точная, объективно обоснованная оценка склонности исследуемого грунта к динамическому разжижению, так как от этого напрямую зависят технико-экономические показатели принимаемых проектных решений. В связи с эти дается современная, с учетом требований международных стандартов, трактовка метода оценки разжижаемости грунта, базирующаяся на сравнении циклического сопротивления грунта разжижению (CRR) с сейсмической нагрузкой, выраженной через циклическое касательное напряжение (CSR). В случае доминирования CRR, разжижение считается возможным.

Показано, что для повышения надежности определения риска разжижения необходима комбинация не менее двух независимых методов (например, CPT+SPT или CPT+V_s), исходя из имеющегося в наличии оборудования и наработанного опыта этих измерений.

В зависимости от уровня ответственности возводимых зданий и сооружений рекомендованы методы по усилению оснований и типы фундаментов для обеспечения безопасного строительства при динамическом разжижении грунтов, исходя из анализа местных условий строительства и учета мирового опыта.

Список литературы

1. Иванов, П.Л. Разжижение песчаных грунтов [Текст] / П.Л. Иванов - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 260 с.

2. Маслов, Н.М. Основы инженерной геологии и механика грунтов [Текст] / Н.М. Маслов - М.: Высшая школа, 1982. - 511 с.
3. Ставницер, Л.Р. Сейсмостойкость оснований и фундаментов [Текст]: монография / Л.Р. Ставницер - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. - 448 с.
4. Вознесенский, Е.А. Динамическая неустойчивость грунтов [Текст]: дис. докт. геол-минер. наук: 04.00.07 / Вознесенский Евгений Арнольдович. – М., 2000. - 368с.
5. Расулов Х.З. Сейсмопрочность и сейсмопросадка увлажненных лессов [Текст] / Х.З. Расулов – Ташкент: Издательство академии наук Республики Узбекистан, 2020. - 322с.
6. Минаев, О.П. Об оценке разжижения грунтов оснований фундаментов зданий [Текст] / О.П. Минаев, А.Ж. Жусупбеков // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. - 2025. – С.73-94.
7. Моргунов, К.П. Проблемы разжижения грунтов в основаниях гидротехнических сооружений [Текст] / К.П. Моргунов, М.А. Колосов // Наука и техника. - 2022. - Т.21. - № 3. - С. 201–210.
8. Болдырев, Г.Г. Методы определения динамических свойств грунтов [Текст] / Г.Г. Болдырев, И.Х. Идрисов - М.: ООО «Прондо», 2018. - 488 с.
9. Штейнберг, В.В. Методы оценки сейсмических воздействий (пособие) [Текст] / В.В. Штейнберг, М.В. Сакс, Ф.Ф. Аптикаев и др.// Вопросы инженерной сейсмологии. –1993. - Вып. 34. - С.5–94.
10. Ишихара, К. Поведение грунтов при землетрясениях [Текст] / К. Ишихара – М.: Недра, 2005. - 384с.
11. Iwasaki T., Tatsuoka F., Tokida K. & Yasuda S. A Practical Method for Assessing Soil Liquefaction Potential Based on Case Studies at Vari ous Sites in Japan // Proc. 2nd International Conference on Microzonation for Safer Construction-Research and Application, 1978. PP. 885-896.
12. Seed H.B. & Idriss I.M. Simplified Procedures for Evaluating Soil Liquefaction Potential // Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering, ASCE, 1971. Vol. 97. SM9. PP. 1249-1273.
13. Idriss, I.M., Boulanger, R.W. Soil liquefaction during earthquakes. - USA, California: EERI, 2008. - 240p.
14. Ishihara K. Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics. Monograph. - USA, Oxford, Clarendon Press: Department of Civil Engineering Science, University of Tokyo, 2006. - 384p.
15. Robertson, P.K. Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test [Text] / P.K. Robertson & C.E. Wride (Fear) // Canadian Geotechnical Journal. - 1998. - 35(3). - PP 442-459.
16. Zhang, G. Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground [Text] / G. Zhang, P.K. Robertson, & R.W. Brachman // Canadian Geotechnical Journal. - 2002. – Vol. 39. - Issue 5. - PP. 1168–1180.
17. Boulanger, R.W. Evaluation of cyclic softening in silts and clays [Text] / R.W. Boulanger & I.M. Idriss // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE. - 2007. – Vol.133. - Issue 6. - PP.641–652.
18. Youd, T.L. Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils [Text] / T.L. Youd, I.M. Idriss, R.D. Andrus, I. Arango, G. Castro, J.T. Christian & all //Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering. - 2001. - 127(4). – PP.297-313.
19. Инфраструктура объектов хозяйственной деятельности, расположенных на территориях в районе г. Кызылорда. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://www.petrokazakhstan.kz. Дата обращения 25.03.26.
20. Инженерно-геологические данные грунтовых условий г. Кызылорда. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://geology.gov.kz/, https://www.gov.kz/memleket/entities/geology. Дата обращения 27.03.26.

Материал поступил в редакцию 21.04.26, принят 23.06.26.

**И.С. Бровко[1], Ф.Х. Аубакирова[1], К.С. Досалиев[1],
Б.К. Дуйсенбеков[1], Г.Ж. Сыпабекова[2]**

[1]М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан
[2]С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университет, Астана, Қазақстан

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНДАҒЫ ДИНАМИКАЛЫҚ СҰЙЫЛТЫЛҒАН ТОПЫРАҚТАРДАҒЫ ҚАУІПСІЗ ҚҰРЫЛЫС НЕГІЗДЕРІ

Аңдатпа. Мақалада әлемдік жетістіктерді талдауға негізделген сейсмикалық әсерлер кезіндегі топырақтың сұйылту механизмінің физикалық принциптері ұсынылған. Топырақтың сұйылтылуына бейім аймақтар анықталды, соның ішінде Қазақстан Республикасындағы аудандар да бар. Қазақстандағы бірқатар учаскелердің геологиялық жағдайлары Ниигата префектурасындағы (Жапония) құрылыс жағдайларына ұқсастығы бойынша талданды. Онда топырақтың сұйылтылуын кешенді бағалаудың негізін құраған жойқын жер сілкінісі кезінде нақты жағдайдағы бақылаулар жүргізілді. Мақалада топырақтың сұйылтылуының ықтималдығын теориялық анықтау әдісінің негіздері және оны халықаралық стандарттардың талаптарын ескере отырып, заманауи түсіндіру ұсынылған. Топырақтың сұйылту мүмкіндігін шынайы бағалаудағы стандартты ену сынағының SPT (Standard Penetration Test), конус ену сынағының CPT/CPTu (Cone Penetration Test) және «Ығысу толқынының жылдамдығы» Vs (Shear Wave Velocity) әдісінің рөлі, сондай-ақ іс жүзінде қажетті осы әдістердің минималды үйлесімі бағаланады. Топырақтың динамикалық сұйылту кезінде қауіпсіз құрылысты қамтамасыз ету үшін іргетас нығайту әдістері мен іргетас түрлері ұсынылады.

Тірек сөздер: геологиялық жағдайлар, сейсмикалық жүктеме, ығысу толқыны, топырақтың динамикалық сұйылтылуы, топырақтың сұйылтуға кедергісі, ену, зондтау, көлемдік сығу, іргетастың нығайтылуы, қауіпсіз құрылыс.

**I.S. Brovko[1], F.Kh. Aubakirova[1], K.S. Dosaliev[1],
B.K. Duissenbekov[1], G.Zh. Sypabekova[2]**

[1]M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan
[2]S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan

FUNDAMENTALS OF SAFE CONSTRUCTION ON DYNAMICALLY LIQUEFIABLE SOILS IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

Abstract. The paper presents the physical fundamentals of the soil liquefaction mechanism under seismic loading, based on an analysis of global research and best practices. Regions potentially susceptible to soil liquefaction are identified, including those within the Republic of Kazakhstan. The geological conditions of a number of sites in Kazakhstan are analyzed in terms of their similarity to construction conditions in Niigata Prefecture (Japan), where in-situ observations during a destructive earthquake formed the basis for a comprehensive assessment of soil liquefaction.
The principles of theoretical evaluation of liquefaction potential are outlined, along with their modern interpretation in accordance with international standards. The role of Standard Penetration Tests (SPT), Cone Penetration Tests (CPT/CPTu), and the Shear Wave Velocity (Vs) method in the reliable assessment of liquefaction susceptibility is evaluated, including the minimum practical combination of these methods. Methods for ground

improvement and types of foundations are recommended to ensure safe construction under conditions of dynamic soil liquefaction.

Keywords: geological conditions, seismic loading, shear wave, dynamic soil liquefaction, soil resistance to liquefaction, penetration, site investigation (sounding), volumetric compression, ground improvement, safe construction.

References

1. Ivanov P.L. Razzhizhenie peschanyh gruntov [Liquefaction of sandy soils] - M.-L.: Gosjenergoizdat, 1962. – 260s. [in Russian]
2. Maslov N.M. Osnovy inzhenernoj geologii i mehanika gruntov [Fundamentals of engineering geology and soil mechanics] - M.: Vysshaja shkola, 1982. - 511s. [in Russian]
3. Stavnicer L.R. Cejsmostojkost' osnovanij i fundamentov [Earthquake resistance of foundations and foundations] / Monografija. M.: Izdatel'stvo Associacii stroitel'nyh vuzov, 2010. - 448s. [in Russian]
4. Voznesenskij E.A. Dinamicheskaja neustojchivost' gruntov [Dynamic instability of soils]. Diss. na soisk. uch. ct. d.g-m.n. - M, 2000, - 368s. [in Russian]
5. Rasulov H.Z. Sejsmoprochnost' i sejsmoprosadka uvlazhnennyh lessov [Seismic resistance and seismic subsidence of moistened loess] – Tashkent: Izdatel'stvo akademii nauk Respubliki Uzbekistan, 2020. - 322s. [in Russian]
6. Minaev O.P., Zhusupbekov A.Zh. Ob ocenke razzhizhenija gruntov osnovanij fundamentov zdanij [On the assessment of soil liquefaction of the foundations of buildings] // Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij [Earthquake-resistant construction. Safety of structures], 2025. – S.73-94. [in Russian]
7. Morgunov K.P., Kolosov M. A. Problemy razzhizhenija gruntov v osnovanijah gidrotehnicheskih sooruzhenij [Problems of soil liquefaction in the foundations of hydraulic structures] // Nauka i tehnika [Science and technology], 2022. - T.21. - № 3. - S. 201–210. [in Russian]
8. Boldyrev G.G., Idrisov I.H. Metody opredelenija dinamicheskih svojstv gruntov [Methods for determining the dynamic properties of soils]. - M.: OOO «Prondo», 2018. - 488s. [in Russian]
9. Shtejnberg V.V., Saks M.V., Aptikaev F.F. i dr. Metody ocenki sejsmicheskih vozdejstvij (posobie) [Methods of seismic impact assessment (manual)] // Voprosy inzhenernoj sejsmologii [Questions of engineering seismology] – M.: Nauka, 1993 - Vyp. 34. - S.5–94.
10. Ishihara K. Povedenie gruntov pri zemletrjasenijah. (perevod 2 anglijskogo izdanija Pod redakciej A.B. Fadeeva i M.B. Lisjuk.) [Soil behavior during earthquakes] – M.: Nedra, 2005. -384s.
11. Iwasaki T., Tatsuoka F., Tokida K. & Yasuda S. A Practical Method for Assessing Soil Liquefaction Potential Based on Case Studies at Vari ous Sites in Japan /Proc. 2nd International Conference on Microzonation for Safer Construction-Research and Application, 1978. - PP. 885-896.
12. Seed H.B. & Idriss I.M. Simplified Procedures for Evaluating Soil Liquefaction Potential / Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering, ASCE, 1971. - Vol. 97. - SM9. - PP. 1249-1273.
13. Idriss I.M., Boulanger R.W. Soil liquefaction during earthquakes. USA, California: EERI, 2008. - 240p.
14. Ishihara K. Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics. Monograph. USA, Oxford, Clarendon Press: Department of Civil Engineering Science, University of Tokyo, 2006. - 384p.
15. Robertson P.K. & Wride (Fear) C.E. Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test / Canadian Geotechnical Journal, 1998. - 35(3). - 442-459.

16. Zhang G., Robertson P.K., & Brachman R.W. Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground / Canadian Geotechnical Journal, 2002. – Vol. 39. - Issue 5. - PP. 1168–1180.
17. Boulanger R.W. & Idriss I.M. Evaluation of cyclic softening in silts and clays / Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 2007. – Vol.133. - Issue 6. - PP.641–652.
18. Youd T.L., Idriss I.M., Andrus R.D., Arango I., Castro G., Christian J.T. & all Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils / Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, 2001. - 127(4). - 297-313.
19. Infrastruktura ob#ektov hozjajstvennoj dejatel'nosti, raspolozhennyh na territorijah v rajone g. Kyzylorda [The infrastructure of business facilities located in the territories of the city of Kyzylorda] [Electronic resource]. -- Access mode: https://www.petrokazakhstan.kz [in Russian]
20. Inzhenerno-geologicheskie dannye gruntovyh uslovij g. Kyzylorda [Engineering and geological data of the soil conditions of Kyzylorda] [Electronic resource]. - Access mode: http://geology.gov.kz/, https://www.gov.kz/memleket/entities/geology [in Russian]

МРНТИ 67.09.05

И.И. Бекбасаров [1] – *основной автор,*
К.Т. Суйеншбаева[2] ©

[1]Д-р техн. наук, [2]Магистр
[1]https://orcid.org/0000-0003-3250-7853 [2]https://orcid.org/0000-0003-4734-1091
[1,2,]Таразский университет им. М.Х. Дулати
Тараз, Казахстан
[2]quralai.toqqoja@gmail.com

https://doi.org/10.55956/IJOM2855

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ПОЛИКОМПОНЕНТНЫХ ГРУНТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. Для возведения грунтовых сооружений, в том числе и насыпных гидротехнических земляных плотин широко применяются природные и исскуственные грунтовые смеси Традиционно используются двухкомпонентные смеси, основным составляющим компонентом в которых является грунт. При этом в качестве добавок в грунт используются как грунты иного вида и состава, так и негрунтовые материалы, обладающие различными свойствами. Изложен краткий анализ результатов исследований состава, уплотняемости, деформируемости, сжимаемости и сопротивляемость двухкомпонентных смесей. Установлено, что дозированное внесение в грунт иного грунтового или негрунтового материала способствует изменению его свойств. Предложены смеси, состоящие из трех компонентов, выполняющих соответственно роли несущего, вяжущего и армирующего компонентов. Представлены формулы по определению массы поликомпонентной смеси и массы данной смеси в сухом состоянии при ее послойном уплотнении в составе грунтовых сооружений. Формулы получены на основе принципа сохранения массы и с учетом ряда основных закономерностей механики грунтов, которые распространяются на показатели их физических свойств.

Ключевые слова: плотина, грунтовая смесь, поликомпонентная смесь, несущий компонент, вяжущий компонент, армирующий компонент, масса, плотность, влажность.

Бекбасаров, И.И. Об определении параметров поликомпонентных грунтовых материалов [Текст] / И.И. Бекбасаров, К.Т. Суйеншбаева // Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №2(92). – С.342-357. https://doi.org/10.55956/IJOM2855

Введение. Для возведения грунтовых сооружений (дамб, земляных плотин, дорожных насыпей, грунтовых подушек и др.) широко применяются природные и искусственные грунтовые смеси, состоящие из разных видов грунтов. В строительной отрасли в основном используются грунты, состоящие из двух грунтовых компонентов. К природным двухкомпонентным грунтовым смесям, например, можно отнести крупнообломочные грунты с песчаным или глинистым заполнителем. В целом разновидностей двухкомпонентных природных смесей не так много. Двухкомпонентные искусственные смеси подразделяются на смеси, в которых оба компонента грунтовые, и на смеси, в которых один компонент –

грунтовый, а другой – не грунтовый. К первому виду искусственных смесей относятся:

- супесчано-суглинистые смеси [1];
- суглинисто-щебенистые смеси [2].
- суглинисто-песчаные смеси [3].

Ко второму виду искусственных смесей относятся:

- грунтобетоны, цементогрунты [4,5-7];
- глинисто-известковые смеси [5];
- песчано-шинные смеси [6];
- песчано-фосфогипсовые смеси [7];
- песчано-фибровые смеси[8].

Для искусственных смесей обоих видов характерны особые свойства, изучению которых посвящен ряд исследований. Ниже представлен краткий анализ результатов этих исследований.

В работе [1] приведены результаты испытаний супесчано-суглинистых смесей на уплотняемость в лабораторных и полевых условиях. Испытанию подвергались опытные смеси при следующих соотношениях их составных компонентов (по массе):

- 50% супеси и 50% суглинка;
- 25% супеси и 75% суглинка;
- 25% суглинка и 75% супеси.

Установлено, что наиболее оптимальным является третий состав смеси, для которого максимальная плотность в сухом состоянии составила 1,88 г/см^3, а оптимальная влажность – 10,14%. Для данного состава смеси коэффициент уплотнения составил 0,93-0,95 при 8-9 опытных проходках катка. Модуль деформации смеси оказался равным 24 МПа. Из оптимального состава смеси возведена грунтовая подушка толщиной 2 м под фундаменты промышленного здания.

Авторами работы [2] выполнены лабораторные исследования по оценке сжимаемости образцов суглинисто-щебенистых смесей [2]. Компрессионные испытания выполнялись для следующих составов смесей:

- смесь со 100% содержанием фракций с размерами частиц меньше 2 мм;
- то же с 70% содержанием и наличием частиц с размерами 40 мм;
- то же с 50% содержанием и наличием частиц с размерами 40 мм.

Выявлено, что для первого состава смеси, относительные вертикальные деформации образцов в водонасыщенном состоянии находятся в пределах 5,9-7,6%, а для образцов без насыщения водой - в пределах 3,9-6,9%. Для образцов остальных двух составов, их относительные деформации достигали до 8,2%.

Повышенная деформируемость образцов второго и третьего составов рассматриваемых смесей, авторами, объясняется содержанием в них частиц с размерами 40 мм. Определено, что наличие крупных частиц в смесях сопровождается снижением их сжимаемости при действии вертикальной статической нагрузки.

В работе [3] изложены результаты экспериментов по оценки параметров уплотнения грунтовых смесей, состоящих из суглинка и крупного песка. Опыты проводились в лабораторных условиях с опытными образцами смесей при четырех режимах приложения к ним многократно-повторяющихся ударных нагрузок (постоянном, двухступенчато-возрастающем, многократно-возрастающем и линейно-возрастающем

режимах). Определено, что увеличение содержания песка в суглинке от 5 до 30% повышает величину динамической сопротивляемости суглинисто-песчаных смесей почти в 2 раза по сравнению с сопротивляемостью суглинка без добавки песка. При этом увеличивается и плотность смесей до 12,5% по сравнению с плотностью суглинка. Установлено, что между плотностью смеси в сухом состоянии и весовым содержанием крупного песка (в смеси) имеет место устойчивая корреляционная зависимость. Данная зависимость характерна для всех режимов приложения ударной нагрузки.

Хоу Б.К. в работе [4] описывает способ получения грунтобетона (грунтоцемента), который состоит в смешивании грунта с портландцементом. Такая смесь после смачивания водой, уплотнения кулачковыми катками и последующего частичного высыхания представляет собой полуотвердевшее грунтоцементное вещество. Расход цемента при изготовлении грунтобетона обычно принимается не меньше 5-6% от массы самого грунта. С позиции обеспечения экономической эффективности грунтобетона, расход цемента в нем не должен превышать 12-15%. Для изготовления грунтобетона предпочтительно использовать сыпучие грунты, которые в отличие от глинистых грунтов лучше взаимодействуют с цементом. Автор отмечает, что чем больше в грунте мелких фракций, тем больше цемента требуется для улучшения его свойств. Отрицательное влияние на процесс формирования грунтобетона оказывает наличие в грунте органических примесей. При их высоком содержании имеет место риск существенного снижения связывающего эффекта цемента. Количество цемента, необходимого для изготовления грунтобетона, зависит от количества воды в порах грунта, его минералогического и гранулометрического состава, и других факторов.

Афанасьевым И.А. и Лебедевым Б.М. изучено влияние различных режимов уплотнения на прочность образцов из цементогрунта [5]. Образцы изготовлялись из песка и супеси с содержанием глины до 20-25%. Добавка цемента в грунты составляла 10% от их массы. Использовался цемент марки М-400. Уплотнение образцов осуществлялось при следующих режимах приложения нагрузок:

- статическое приложение сжимающей нагрузки с созданием давления 10, 15 и 20 МПа;
- вибрационное воздействие продолжительностью 30 сек.;
- комбинированное нагружение, включающее вибрационное воздействие и последующее статическое нагружение с созданием давления 15 и 20 МПа;
- комбинированное нагружение, включающее статическое нагружение с созданием давления 15 и 20 МПа и последующее вибрационное воздействие;

По результатам исследований, авторами установлены рациональные режимы уплотнения, при которых достигается наибольшая прочность цементогрунтовых образцов. Так для песка, таким режимом является комбинированный режим, включающий в себя вибрационное воздействие и последующее статическое нагружение с созданием давления 20 МПа, а для супеси с содержанием глины 20-25% - комбинированный режим, включающий в себя вибрационное воздействие и последующее статическое нагружение с созданием давления 15 МПа.

В работе [6] Кондратовым А.Б., Малининым А.Г. и Гуляевым А.А. изложены результаты исследований образцов, состоящих из крупного песка и тампонажного цемента, в стабилометре. Добавка тампонажного цемента в

песок составляла от 2 до 20% от веса песка в сухом состоянии. На основе результатов лабораторных опытов выявлено, что содержание цемента в песке оказывает влияние на такие показатели цементогрунта как сцепление и коэффициент трения (табл.1).

Таблица 1

Значения сцепления и коэффициента трения цементогрунта

Процентное содержание тампонажного цемента в песке	Значения	
	сцепления, МПа	коэффициента трения
2	0,649	0,450
5	0,912	0,656
10	0,984	0,828
15	1,402	0,933
20	1,498	0,965

Из таблицы следует, что увеличение содержания цемента в крупном песке от 2,5 до 10 раз приводит к увеличению сцепления цементогрунта в 1,405-2,308 раза, а коэффициента трения – в 1,458-2,144 раза.

Архангельской Т.М. выполнены исследования по изучению угла внутреннего трения и удельного сцепления песчанно-цементных смесей при их различной плотности [7]. Образцы изготовлялись из песка средней крупности и цемента. Содержание цемента в песке составляло 2-20%. Влажность смесей для всех образцов принималась равной 5%, а плотность – равной 1,5-1,7 т/м^3. Результаты опытов свидетельствуют о том, что плотность смесей и содержание в них цемента оказывают влияние на удельное сцепление и угол внутреннего трения смесей (табл.2).

Таблица 2

Значения угла внутреннего трения и удельного сцепления песчанно-цементных смесей

Плотность смеси, кН/м^3	Содержание цемента в смеси, %	Угол внутреннего трения смеси, градусы, минуты	Удельное сцепление смеси, МПа
15,0	-	29°24′	-
16,0		29°30′	-
17,0		30°30′	-
15,0	2	29°30′	0,010
16,0		29°48′	0,015
17,0		30°30′	0,020
15,0	4	30°00′	0,020
16,0		30°12′	0,025
17,0		30°24′	0,033
15,0	6	30°12′	0,028
16,0		30°18′	0,035
17,0		30°24′	0,045
15,0	10	30°18′	0,040
16,0		30°30′	0,050
17,0		30°36′	0,060
15,0	20	30°12′	0,066
16,0		30°18′	0,080
17,0		30°42′	0,095

Из таблицы следует, что с повышением содержания цемента в смеси как угол внутреннего трения, так и удельное сцепление смеси увеличиваются. Причем, чем больше плотность смеси, тем больше, значения этих параметров. Если, для угла внутреннего трения эти изменения незначительные, то для удельного сцепления они более существенные. Так при увеличении содержания цемента в смеси в 2-10 раз его удельное сцепление повышается в 2-9,5 раза.

Грунтоцементные смеси изучались и специалистами Национального исследовательского Московского государственного строительного университета [8]. Ими выявлены особенности изменения скоростей упругих поперечных волн в образцах грунтоцемента по мере изменения их влажности, плотности и напряженного состояния. Эксперименты проводились в лабораторных условиях с применением резонансной колонки и образцов грунтоцемента, отобранных на площадке проектируемой АЭС. Грунтоцемент представляет собой смесь песков (мелких и пылеватых) и портландцемента с прочностью на сжатие 21 МПа. Установлено, что увеличение плотности грунтоцементных образцов сопровождается уменьшением скорости распространения упругих поперечных волн. Аналогичная закономерность имела место и при увеличении влажности образцов. Эти закономерности описываются устойчивыми корреляционными зависимостями. Кроме того выявлено, что образцы грунтоцемента обладают:

- влажностью близкой к природной влажности, после их полного водонасыщения;
- низкой сжимаемостью и практически не уплотняются.

Исследования глинисто-известковых смесей проведены в Пермском политехническом институте и их результаты рассмотрены в работе [9]. Известь использована авторами для укрепления переувлажненных глинистых грунтов (суглинков, глин). Стандартными испытаниями выявлено, что добавка извести в глинистый грунт в количестве 1,2 и 4% (от массы самого грунта) сопровождается:

- снижением плотности смеси соответственно на 0,62, 1,86 и 3,1%;
- повышением оптимальной влажности смеси соответственно на 10,45, 18,18 и 26,82%.

Как видно добавка извести большее влияние оказывает на влажность смесей, чем на их плотность. Кроме плотности и влажности добавка извести оказывает влияние и на прочностные характеристики глинисто-известковых смесей. Так выявлено, что добавка извести в количестве 2% приводит к повышению угла внутреннего трения:

- суглинисто-известковой смеси (при ее влажности 23,8%) - на 4°30′;
- суглинисто-известковой смеси (при влажности 25,9%) - на 5°30′;
- глинисто-известковой смеси (при влажности 48,6%) - на 8°10′.

Добавка извести в 2% вызывает также повышение удельного сцепления:

- суглинисто-известковой смеси (при влажности 23,8%) - в 1,51 раза;
- суглинисто-известковой смеси (при влажности 25,9%) - в 1,23 раза;
- глинисто-известковой смеси (при влажности 48,6%) – в 1,41 раза.

В работе [10] приведены результаты изучения прочностных показателей песчано-шинных смесей. Путем испытаний опытных образцов на сдвиг определено, что сопротивляемость песчано-шинных смесей выше, чем сопротивляемость песков без добавок шинной крошки. Так внесение в состав песка резиновых частиц в количестве до 20% (по массе) вызывает увеличение

угла внутреннего трения смесей до 47° 07′. Это объясняется, тем, что резиновые крошки, заполняя поры песка, во-первых, хорошо сцепляются с частицами песка и, во-вторых, придают песку некоторые упругие свойства.

Параметры уплотняемости песчано-фосфогипсовых смесей изучались специалистами Таразского государственного университета им. М.Х. Дулати [11]. В опытах использовался фосфогипс, образцы которого были отобраны со складированных запасов АО «Казфосфат». Испытания проводились в лабораторных условиях по методике стандартного уплотнения. Для каждого состава смесей определялись значения плотности в сухом состоянии и оптимальной влажности. Установлено, что при 10, 20 и 30% содержании фосфогипса (по массе) в крупном песке, плотность смесей в сухом состоянии соответственно составила 1,72, 1,70 и 1,68 г/см^3. Из этого следует, что увеличение содержания фосфогипса в 2 и 3 раза приводит к уменьшению плотности смесей в сухом состоянии соответственно на 1,16 и 2,33%. Также выявлено, что увеличение содержания фосфогипса в 2 и 3 раза сопровождается повышением оптимальной влажности смесей соответственно на 25,0 и 87,5%.

Как видно количество фосфогипса оказывает большее влияние на влажность смесей, чем на их плотность. Следовательно, для эффективного уплотнения песчано-фосфогипсовых смесей требуется большое количество воды для их увлажнения.

В работе [12] представлены результаты исследований прочностных характеристик песка, армированного дискретными волокнами полипропилена. В экспериментах использовались образцы речного мелкозернистого, однородного песка нарушенной структуры с влажностью 28% и плотностью в сухом состоянии 16,4 кН/м^3. Для армирования песка применялись волокна полипропилена длиной 6 мм, диаметром 20 мкм, прочностью на растяжение 1,0 МПа и удлинением до разрыва 150-250%. Образцы фибропеска испытывались на трехосное сжатие с определением разрушающей нагрузки при их всестороннем обжатии давлением в 100 кПа. Установлено, что при содержании в песке волокон полипропилена от 0,5 до 5%, разрушающая нагрузка, повышается от 677 до 1439 кПа. Таким образом, увеличение содержания волокон полипропилена в песке в 3-10 раз вызывало повышение разрушающей нагрузки в 1,292-2,125 раза. По сравнению с неармированным песком, разрушающая нагрузка для фибропеска, оказалась в 1,128-2,398 раза.

Офрихтером В.Г. и Офрихтером Я.В. экспериментально оценена механическая ползучесть фибропеска [13]. Фибропесок изготовлялся из природного песка и полипропиленовых волокон длиной 12 мм и диаметром 20 мкм. Для волокон полипропилена характерны следующие показатели:

- плотность – 0,91 г/см^3;
- прочность на растяжение -170-260 МПа;
- удлинение на разрыв -150-250%;
- масса нити длиной 10000 м - 28;
- температура воспламенения – 320°;
- температура плавления - 160°.

Расход фибр на образец составил 0,93% от массы песка, а плотность частиц фибропеска - 2,58 г/см^3. Образцы подвергались компрессионному испытанию на ползучесть при постоянной нагрузке 400 кПа в течение 141 суток. На основе анализа графиков испытаний установлено, что процесс

компрессионного сжатия фибропеска состоит из двух характерных фаз: первая фаза - прямая компрессия; вторая – механическая ползучесть.

В работе [14] представлены результаты исследований песчано-фибровых смесей, в которых, в качестве фибр, приняты волокна полипропилена длиной 12 мм и диаметром 25-35 мм. Стандартными испытаниями на ударную уплотняемость определено, что с увеличением содержания фибр от 0,5 до 1,5% (по массе сухого песка) плотность смесей в сухом состоянии уменьшается до 6-8%, а оптимальная влажность остается постоянной и составляет 8,5%.

Испытания образцов смесей на одноплоскостной сдвиг показали, что при количестве фибр в них 0,5, 1,0 и 1,5% угол их внутреннего трения увеличивается в 1,12, 1,22 и 1,41 раза, а удельное сцепление, также соответственно увеличивается в 3,35, 3,75 и 1,85 раза по сравнения с аналогичными показателями песка без фибр. Из этих данных следует, что по удельному сцеплению, более предпочтительно использовать, смеси с содержанием фибр 0,5 - 1,0%, а по углу внутреннего трения - смеси с содержанием фибр 0,5 -1,5%.

Гришиной А.С. в работе [15] в качестве армирующего компонента грунта предложено использовать волокна пропилена. При этом автор считает, что содержание данного компонента в грунте не должно быть более 0,5% от массы сухого грунта. Так исследованиями установлено, что при содержании в грунте 0,25% волокон пропилена, удельное сцепление фибропеска повышается почти в 3 раза, а угол внутреннего трения – на 13%. При содержании в грунте полипропиленовых волокон более 0,5% уменьшается их способность к перемешиванию. В результате этого имеет место крайне неравномерная концентрация фибр в грунте, что отрицательно отражается на сопротивляемости грунта сдвигу. Выявлено также, что применение базальтовых волокон для улучшения свойств песка менее эффективно, чем применение полипропиленовых волокон. Экспериментально определено, что использование фибропеска в качестве материала для обратной засыпки подпорных стен ведет к повышению критической нагрузки (до 8 раз), которую способно выдержать сооружение без потери устойчивости, а также к снижению горизонтальных перемещений стенок (почти в 50 раз).

Из вышеизложенного анализа видно, что уплотняемость, деформируемость, сжимаемость и сопротивляемость двухкомпонентных смесей отличается от грунтов, состоящих из одного компонента. В целом дозированное внесение в грунт иного грунтового или негрунтового материала способствует улучшению его свойств. Анализ состава двухкомпонентных смесей показывает, что вносимый в грунт второй компонент (песок, цемент, известь, фосфогипс, фибры и, др.) используется в качестве:

- компонента - заполнителя, повышающего долю крупных твердых частиц в смеси;
- вяжущего компонента, связывающего или скрепляющего частицы грунта межу собой;
- армирующего компонента, придающего жесткость и структурную целостность грунту.

Традиционно перечисленные компоненты, вносятся в состав грунта по отдельности, не вместе, хотя каждый из них обладает разными, но полезными для грунта свойствами. Учитывая данное обстоятельство, на наш взгляд,

было бы эффективным создание поликомпонентных грунтовых смесей, которые включают в себя одновременно следующие компоненты:

- несущий компонент (глинистый, песчаный грунт, или их смесь);
- вяжущий компонент (цемент, фосфогипс, барит, известь и др.);
- армирующий компонент (неметаллические фибры – полипропилен, базальтовые, стекловолоконные и др.).

Создание поликомпонентных грунтовых смесей и разработка методики подбора их оптимального состава положены в основу грантового проекта «Жас ғалым» на 2025-2027 годы по приоритету «Энергия, передовые материалы и транспорт» по направлению науки «Архитектура и строительство» на тему: ИРН AP25795533 «Создание поликомпонентных грунтовых материалов, оптимизация их составов и разработка методов прогноза их параметров для возведения насыпных плотин». В соответствии с этим проектом важным составляющим методики подбора оптимального состава поликомпонентных смесей служит разработка теоретического метода определения их параметров. Исходя из этого, в настоящей работе, представлены основные положения данного метода, ценность которого подтверждается актуальностью реализуемого проекта.

Условия и методы исследований. В качестве теоретической основы метода принят принцип сохранения массы грунта, предложенный Бекбасаровым И.И. Принцип использован автором для определения параметров уплотнения грунтов при вытрамбовывании (выштамповывании) в них котлованов (траншей) [16-18]. Кроме данного принципа учтены основные закономерности механики грунтов, относящиеся к их физическим характеристикам [19].

Исходными предпосылками для разработки метода служат следующие положения:

- поликомпонентная смесь формируется из грунта с влажностью меньшей, чем ее оптимальная влажность;
- грунт является глинистым, песчаным либо их смесью, нарушенной структуры, без содержания иных примесей (органических, солевых, техногенных и др.);
- в порах грунта содержится вода, без содержания растворимых и нерастворимых веществ, природного или искусственного происхождения;
- вид и свойства используемых негрунтовых компонентов, соответствуют действующим нормативам и стандартам;
- вода для приготовления поликомпонентной смеси, не содержит в себе растворимые и нерастворимые примеси, и соответствует требованиям действующих стандартов;
- влажность смеси после добавления в нее воды достигает оптимальной величины.

Результаты исследований. На основе принципа сохранения масс можно записать следующее исходное равенство**:**

$$m_p = m_N + m_a + m_в + m_w, \quad (1)$$

где: m_p - масса поликомпонентного грунтовой смеси (материала); m_N - масса несущего компонента; m_a - масса армирующего компонента; $m_в$ - масса вяжущего компонента; m_w - масса воды, добавляемой в смесь.

Примем следующие соотношения:

$$\alpha_{\boldsymbol{a}} = m_a/m_N, \quad (2)$$

$$\alpha_{\boldsymbol{в}} = m_в/m_N, \quad (3)$$

Массу несущего компонента m_N с влажность W_N в равенстве (1) можно записать в виде:

$$m_N = m_N^c + m_N^w = m_N^c + W_N m_N^c = m_N^c(1 + W_N), \quad (4)$$

где: m_N^c - масса несущего компонента в сухом состоянии; m_N^w - масса воды в порах несущего компонента.

С учетом соотношений (2) и (3), а также формулы (4), равенство (1), можно преобразовать в следующий вид:

$$m_p = [m_N^c(1 + W_N) \times (1 + \alpha_{\boldsymbol{a}} + \alpha_{\boldsymbol{в}})] + m_w, \quad (5)$$

Учитывая, что армирующий и вяжущий компоненты вносятся в смесь в сухом состоянии, допускаем, что суммарная масса воды m_N^w, содержащей в порах несущего компонента и массы воды m_w, добавляемой в смесь, достаточна для доведения ее до оптимальной влажности W_p^o, можно записать выражение:

$$(m_w + m_N^w)/m_p^c = W_p^o, \quad (6)$$

где: m_p^c - масса поликомпонентной смеси в сухом состоянии.

Определяя из равенства (6) массу воды m_w и подставляя полученное выражение в формулу (5) можно записать следующее выражение:

$$m_p = [m_N^c(1 + W_N) \times (1 + \alpha_{\boldsymbol{a}} + \alpha_{\boldsymbol{в}})] + (W_p^o m_p^c - m_N^w), \quad (7)$$

Принимаем:

$$m_p = m_p^c + m_p^w = m_p^c + m_p^c W_p^o = m_p^c(1 + W_p^o), \quad (8)$$

где: m_p^w – масса воды в порах поликомпонентной смеси.

В правой части равенства (7) заменяя массу m_p на $m_p^c(1 + W_p^o)$ можно получить следующую формулу:

$$m_p^c = m_N^c(1 + W_N) \times (1 + \alpha_{\boldsymbol{a}} + \alpha_{\boldsymbol{в}}) - m_N^w, \quad (9)$$

Принимая массу m_N^c равной отношению m_N^w / W_N формулу (8) можно представить в виде:

$$m_p^c = m_N^w\{\{[(1 + W_N) \times (1 + \alpha_{\boldsymbol{a}} + \alpha_{\boldsymbol{в}})]/W_N\} - 1\}, \quad (10)$$

Обсуждение научных результатов. Формула (5) может быть использована для определения массы поликомпонентной смеси. При этом масса несущего компонента m_N^c в сухом состоянии и масса воды m_w, добавляемой в смесь, предварительно определяются на основе проведения лабораторных опытов с применением образцов несущего компонента смеси.

Так масса m_N^c устанавливается по следующей формуле:

$$m_N^c = m_n^c \cdot m_N / m_n, \tag{11}$$

где: m_n^c – масса образца несущего компонента в сухом состоянии, определяемая по результатам лабораторных опытов; m_N - масса несущего компонента в сухом состоянии; m_n- масса образца несущего компонента, определяемая по результатам лабораторных опытов.

Масса воды m_w, добавляемой в поликомпонентную смесь, устанавливается по следующей формуле:

$$m_w = m_w^{'} \cdot V_p / V_p^{'}, \tag{12}$$

где: $m_w^{'}$ - масса воды, добавляемой в образец смеси для доведения ее влажности до оптимальной величины, определяемая по результатам лабораторных опытов; V_p - объем смеси; $V_p^{'}$- объем образца смеси, определяемая по результатам лабораторных опытов.

При послойном уплотнении поликомпонентной смеси (в теле грунтового сооружения) ее объем V_p в формуле (12) равен объему уплотняемого слоя $V_{us} = F_{us} \cdot h_{us}$ (где: F_{us}- площадь уплотняемого слоя; h_{us}- толщина уплотняемого слоя).

На основе формулы (5) можно получить формулу для определения плотности поликомпонентной смеси в следующем виде:

$$\rho_p = \{m_N^c(1 + W_N) \times (1 + \alpha_{\boldsymbol{a}} + \alpha_{\boldsymbol{в}}) + m_w\}/V_p, \tag{14}$$

Формула (5) может быть представлена также и в виде формул (15) и (16) для определения массы армирующего компонента и массы вяжущего компонента смеси соответственно.

$$m_a = m_N\{[(m_p - m_w)/m_N^c(1 + W_N)] - (1 + \alpha_в)\}, \tag{15}$$

$$m_в = m_N\{[(m_p - m_w)/m_N^c(1 + W_N)] - (1 + \alpha_a)\}, \tag{16}$$

Формула (10) может быть использована для определения массы поликомпонентной смеси в сухом состоянии. При этом масса воды m_N^w в порах несущего компонента предварительно определяется на основе проведения лабораторных опытов с применением образцов несущего компонента смеси.

Масса воды m_N^w в формуле (10) с использованием результатов лабораторных опытов определяется по формуле:

$$m_N^w = m_n^W \cdot m_N / m_n, \tag{17}$$

где: m_n^W - масса воды в порах образца несущего компонента, определяемая по результатам лабораторных опытов; m_N - масса несущего компонента; m_n - масса образца несущего компонента, определяемая по результатам лабораторных опытов.

На основе формулы (10) можно получить формулу по определению плотности поликомпонентной смеси в сухом состоянии в следующем виде:

$$\rho_{dp} = (m_N^w/V_p) \cdot \{[(1 + W_N) \times (1 + \alpha_a + \alpha_в)]/W_N - 1\}, \quad (18)$$

Формула (10) может быть представлена также и в виде формул (19) и (20) для определения массы армирующего компонента и массы вяжущего компонента смеси соответственно.

$$m_a = m_N\{\{W_N[(m_p^c/m_N^w) + 1]/(1 + W_N)\} - (1 + \alpha_в)\}, \quad (19)$$

$$m_в = m_N\{\{W_N[(m_p^c/m_N^w) + 1]/(1 + W_N)\} - (1 + \alpha_a)\}, \quad (20)$$

В формулах (5), (10), (14) - (16) и (18) - (20) коэффициенты α_a и $\alpha_в$ можно принимать по таблице 1. Они могут быть использованы для сравнительной количественной оценки параметров различных компонентов поликомпонентной смеси.

Таблица 1

Значения коэффициентов α_a и $\alpha_в$, установленные по данным работ [4-8].

Вид армирующего компонента смеси	Значения коэффициента α_a	Вид вяжущего компонента смеси	Значения коэффициента $\alpha_в$
Резиновые крошки (частицы шины)	0,20	Цемент	не менее 0,05-0,06, но не больше 0,12-0,15
Волокна полипропропилена	0,005-0,015	Известь	0,01-0,04
		Фосфогипс	0,10-0,30

Для сравнительной проверки полученных формул выполнены соответствующие расчеты. Исходные данные к расчетам представлены в таблице 2.

Таблица 2

Исходные данные для расчетов

Параметры	Значения параметров	
	вариант 1	вариант 2
Масса несущего компонента смеси m_N^c, кг	500	1000
Влажность несущего компонента смеси W_N	0,18	0,18
Масса воды m_w, добавляемой в смесь, кг	150	300
Площадь уплотняемого слоя смеси, F_{us}, м^2	25	25
Толщина уплотняемого слоя, h_{us}, м	0,20	0,4
Коэффициент $\alpha_а$ (армирующий компонент смеси – полипропиленовые волокна)	0,01	0,01
Коэффициент $\alpha_в$ (вяжущий компонент смеси – цемент)	0,06	0,06

Результаты выполненных расчетов приведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты расчетов

Параметры	Значения параметров	
	вариант 1	вариант 2
Масса смеси m_p по формуле (5), кг	781,3	1562,6
Плотность смеси ρ_p по формуле (14), т/м^3	1,562	1,562
Масса армирующего компонента смеси m_a по формуле (15), кг	5,9	11,8
Масса вяжущего компонента смеси $m_в$ по формуле (16), кг	35,4	70,8
Масса смеси в сухом состоянии m_p^c по формуле (10), кг	541,3	1082,59
Плотность смеси в сухом состоянии ρ_{dp} по формуле (18), т/м^3	1,08	1,08
Масса армирующего компонента смеси m_a по формуле (19), кг	5,9	11,79
Масса вяжущего компонента смеси $m_в$ по формуле (20), кг	35,34	70,79

Из таблицы 3 видно, что формулы (15) и (19), а также формулы (16) и (20) позволяют получать одинаковые результаты, что свидетельствует их равнозначности и правильной теоретической обоснованности. Для оценки достоверности формул (5), (10) и (14) и (18) необходимо проведение соответствующих экспериментальных исследований.

Заключение. На основе изложенных результатов исследований можно сформулировать следующие выводы:

1. Формулы (5) и (10) соответственно рекомендуются использовать для определения массы поликомпонентной смеси и массы данной смеси в сухом состоянии при ее послойном уплотнении в составе грунтовых сооружений. Формулы предусматривают предварительное проведение лабораторных опытов по определению параметров образцов несущего компонента и самой смеси;
2. Формулы (14) и (18) соответственно можно использовать для определения плотности поликомпонентной смеси и ее плотности в сухом состоянии;
3. Формулы (15) и (16), а также формулы (19) и (20) рекомендуется использовать для определения массы армирующего компонента и массы вяжущего компонента смеси соответственно;
4. Формулы, предназначенные для определения параметров поликомпонентной смеси получены на основе принципа сохранения массы и с учетом ряда основных закономерностей механики грунтов, которые распространяются на показатели их физических свойств.
5. Формулы (5), (10) и (14) и (18) подлежат экспериментальной проверке.

Список литературы

1. Жакулин, А.А. Устройство оснований из супесчаных грунтов методом уплотнения [Текст] / А.А. Жакулин // Труды международной геотехнической конференции, посвященной году РФ в РК. – Алматы: Казахская геотехническая ассоциация, 2004. – С.244-246.
2. Орман, А.О. Некоторые вопросы сжимаемости суглинисто-песчаных и гравийно-щебенистых грунтов [Текст] / А.О. Орман, К.И. Ибрагимов, Б.К. Керимкулов // Труды международной геотехнической конференции, посвященной году РФ в РК. – Алматы: Казахская геотехническая ассоциация, 2004. – С.700-702.
3. Бекбасаров, И.И. Глинопесчаные смеси в качестве материала для устройства грунтовых подушек [Текст] / И.И. Бекбасаров // Научно-технический журнал / Новости науки Казахстана. – Алматы: НЦ ГНТЭ, 2018. – №1(135). – С.85-98.

4. Хоу, Б.К. Основы инженерного грунтоведения [Текст] / Б.К. Хоу // Перевод с английского языка и общая редакция д.т.н., профессора Маслова Н.Н. – М.: Стройиздат, 1966. – 457 с.
5. Афанасьев, И.А. Пути повышения прочности цементогрунтовых оснований уплотнением [Текст] / И.А. Афанасьев, Б.М. Лебедев // Межвузовский сборник научных трудов / Основания и фундаменты в геологических условиях Урала. – Пермь: РИО Пермского государственного технического университета, 1994. – С.136-141.
6. Кондратов, А.Б. Исследование объемной прочности породобетона на основе песка и тампонажного цемента [Текст] / А.Б. Кондратов, А.Г. Малинин, А.А. Гуляев // Труды международной конференции по проблемам свайного фундаментостроения. – Фундаменты. – Пермь: РИО Пермского государственного технического университета, 1996. – Том III. – С.151-156.
7. Архангельская, Т.М. Геотехнические свойства цементогрунта [Текст] / Т.М. Архангельская // Сборник статей международной научно-технической конференции / Геотехника Беларуси: наука и практика. – Минск: БНТУ, 2008. – С.286-292.
8. Соболев, Е.С. Экспериментальные исследования скоростей упругих поперечных волн в грунтоцементе в зависимости от плотности, влажности и напряженного состояния [Текст] / Е.С. Соболев, А.З. Тер-Мартиросян, Д.С. Морев // Геотехника. – М., 2019. – № 3. – С.6-21.
9. Левченко, А.В. Укрепление переувлажненных грунтов в дорожном и аэродромном строительстве [Текст] / А.В. Левченко, Е.И. Путилин // Межвузовский сборник научных трудов / Основания и фундаменты. – Пермь: РИО Пермского политехнического института, 1979. – С.166-172.
10. Соганчин Али Синан. Прочностные характеристики шинно-песчаных смесей // Основания, фундаменты и механика грунтов. – М: Стройиздат, 2014. – №5. – С.25-27.
11. Шаншабаев, Н.А. Исследование фосфогипса для использования в качестве основания [Текст] / Н.А. Шаншабаев, Б.У. Усенбаев, Б. Турлыбаева // Труды международной научно-практической конференции / Современная строительная наука, состояние и перспективы развития. – Алматы: КазНИИССА, 2016. – С. 91-93.
12. Кузнецова, А.С. Исследование прочностных характеристик песка, армированного дискретными волокнами полипропилена [Текст] / А.С. Кузнецова, В.Г. Офрихтер, А.Б. Пономарев // Вестник ПНИПУ / Строительство и архитектура. – Пермь: ПНИПУ, 2012. – №1. – С.44-55.
13. Офрихтер, В.Г. Оценка механической ползучести фибропеска по результатам компрессионных испытаний [Текст] / В.Г. Офрихтер, Я.В. Офрихтер // Известия Казанского ГАСУ / Основания и фундамента, подземные сооружения. – Казань: КГАСУ, 2014. – №4(30). – С.222-229.
14. Колесова, А.С. Анализ эффективности применения фиброармированного песка при устройстве насыпей автомобильных дорог и обратной засыпки подпорных стен [Текст] / А.С. Колесова, Ю.М. Шаньгина, А.С. Гришина // Геотехника. – М., 2016. – № 4. – С.10-15.
15. Гришина, А.С. Анализ работы фиброармированного грунта в качестве обратной засыпки удерживающих конструкций: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. [Текст] / Гришина, А.С. // Специальность: 2.1.2. – Пермь: ПНИПУ, 2022. – 121 с.
16. Бекбасаров, И.И. Определение диаметра уплотненной зоны грунта, формирующейся вокруг вытрамбовываемого котлована неглубокого заложения [Текст] / И.И. Бекбасаров // Труды КарГТУ. - Караганда, 2004. – №4(17). – С.85-88.
17. Бекбасаров, И.И. Об определении диаметра уплотненной зоны, формирующейся в грунте вокруг фундамента с уширенным основанием [Текст] / И.И. Бекбасаров, Б.А. Алимбаев // Материалы Международной научно-практической конференции по проблемам водного хозяйства. – Тараз, 2006. – С.251-255.

18. Бекбасаров, И.И. Основы рационального вытрабовывания котлованов под фундаменты [Текст] / И.И. Бекбасаров // Монография. – Тараз: Издательство «Тараз университеті» 2011. – 155 с.
19. Болдырев Г.Г. Механика грунтов. Основания и фундаменты [Текст] / Г.Г. Болдырев, М.В. Малышев: учеб. пособие / 4-е изд., перераб. и доп. – Пенза: ПГУАС, 2009. – 412 с.

Материал поступил в редакцию 29.04.26, принят 11.06.26.

И.И. Бекбасаров[1], К.Т. Суйеншбаева[1]

[1]М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан

ПОЛИКОМПОНЕНТТІ ТОПЫРАҚ МАТЕРИАЛДАРЫНЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН АНЫҚТАУ

Аңдатпа. Топырақ құрылымдарында, оның ішінде үйінді топырақ бөгеттерін тұрғызу кезінде табиғи және жасанды топырақ қоспалары кеңінен қолданылады. Дәстүрлі түрде негізгі құраушы компоненті топырақ болып табылатын екі компонентті қоспалар пайдаланылады. Бұл ретте топыраққа қоспа ретінде басқа түрдегі және құрамдағы топырақтармен қатар, әртүрлі қасиеттерге ие топырақ емес материалдар да қолданылады. Екі компонентті қоспалардың құрамы, тығыздалғыштығы, деформацияланғыштығы, сығылғыштығы және беріктікке қарсыласуы бойынша жүргізілген зерттеулер нәтижелеріне қысқаша талдау берілген. Топытақ қоспасына топырақ немесе топырақ емес материалдарды қосақан кезде оның қасиеттеріне ықпал ететіні анықталды. Көтергіш, байланыстырғыш және арматуралаушы қызмет атқаратын үш компоненттен тұратын қоспалар ұсынылған. Поликомпонентті қоспаның массасын және оны топырақ құрылыстары құрамында қабаттап тығыздау кезінде құрғақ күйдегі массасын анықтауға арналған формулалар ұсынылды. Бұл формулалар массаның сақталу принципіне және топырақ механикасының олардың физикалық қасиеттерінің көрсеткіштеріне қатысты бірқатар негізгі заңдылықтарын ескерек отырып алынған.

Түйін сөздер: бөгет, топырақ қоспасы, поликомпонентті қоспа, көтергіш компонент, байланыстырғыш компонент, арматуралаушы компонент, масса, тығыздық, ылғалдық.

I. Bekbasarov[1], K. Suienshbayeva[1]

[1]M.Kh.Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan

ON DETERMINING THE PARAMETERS OF POLYCOMPONENT SOIL MATERIALS

Abstract. Natyral and artificial soil mixtures are widely used for the construction of soil structures, including embankment hydraulic earth dams. Traditionally, two-component mixtures are employed, in which soil is the main constituent component. In this context, both soil of different types and compositions, as well as non-soil material with various propertiest, are used as additives. A brief analysis of research results on the composition, compactability, deformability, compressibility, and resistance of two-component mixtures is presented. It has been established that the controlled addition of different soil or non-soil materials into soil contributes to changes in its properties. Mixtures consisting of three components, performing the roles of load-bearing, binding, and reinforcind components, are proposed. Formulas for determining the mass of a polycomponent mixture and its dry mass during layer-by-layer compaction in soil

structures are presented. There formulas are derived based on the principle of mass conservation and taking into account several fundamental law of soil mechanics related to the indicators of their physical properties.

Keywords: dam, soil mixture, polycomponent mixture, load-bearing component, bindibg component, reinforcing component, mass, density, moisture content.

References

1. Zhakulin A.A. Ustroystvo osnovaniy iz supeschanykh gruntov metodom uplotneniya [Construction of foundations from sandy loam soils using the compaction method] // Proceedings of the International Geotechnical Conference dedicated to the Year of the Russian Federation in the Republic of Kazakhstan – Almaty: Kazakhskaya geotekhnicheskaya assotsiatsiya [Almaty: Kazakh Geotechnical AssociationAlmaty: Kazakh Geotechnical Association] 2004. P. 244-246 [in Russian]
2. Orman A.O., Ibragimov K.I., Kerimkulov B.K. Nekotoryye voprosy szhimayemosti suglinisto-peschanykh i graviyno-shchebenistykh gruntov [Some issues of compressibility of loamy-sandy and gravel-crushed stone soils] // Proceedings of the International Geotechnical Conference dedicated to the Year of the Russian Federation in the Republic of Kazakhstan – Almaty: Kazakhskaya geotekhnicheskaya assotsiatsiya [Almaty: Kazakh Geotechnical AssociationAlmaty: Kazakh Geotechnical Association] 2004. P. 700-702 [in Russian]
3. Bekbasarov I.I. Glinopeschanyye smesi v kachestve materiala dlya ustroystva gruntovykh podushek [Clay-sand mixtures as a material for the construction of soil cushions] // Scientific and technical journal. Science news of Kazakhstan. – Almaty: NC GNTE. 2018. No.1(135). P.85-98. [in Russian]
4. Howe B.K. Osnovy inzhenernogo gruntovedeniya. Perevod s angliyskogo yazyka i obshchaya redaktsiya d.t.n., professora Maslova N.N. [Fundamentals of Engineering Soil Science. Translation from English and general editing by Doctor of Technical Sciences, Professor N.N. Maslov.] Moscow: Stroyizdat, 1966. 457 p. [in Russian]
5. Afanasyev I.A., Lebedev B.M. Puti povysheniya prochnosti tsementogruntovykh osnovaniy uplotneniyem [Ways to increase the strength of cement-soil foundations by compaction] // Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov [Interuniversity collection of scientific papers] Osnovaniya i fundamenty v geologicheskikh usloviyakh Urala [Foundations and foundations in the geological conditions of the Urals.] Perm: RIO Perm State Technical University, 1994. P.136-141. [in Russian]
6. Kondratov A.B., Malinin A.G., Gulyaev A.A. Issledovaniye ob"yemnoy prochnosti porodobetona na osnove peska i tamponazhnogo tsementa [Study of bulk strength of rock concrete based on sand and oil well cement] // Trudy mezhdunarodnoy konferentsii po problemam svaynogo fundamentostroyeniya. - fundamenty [Proceedings of the international conference on problems of pile foundation construction. - foundations] Perm: RIO Perm State Technical University, 1996. Volume III. P.151-156. [in Russian]
7. Arkhangelskaya T.M. Geotekhnicheskiye svoystva tsementogrunta [Geotechnical properties of cement soil] // Sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Collection of articles of the international scientific and technical conference] / Geotekhnika Belarusi: nauka i praktika. [Geotechnics of Belarus: science and practice] Minsk: BNTU, 2008. P. 286-292. [in Russian]
8. Sobolev E.S., Ter-Martirosyan A.Z., Morev D.S. Eksperimental'nyye issledovaniya skorostey uprugikh poperechnykh voln v gruntotsemente v zavisimosti ot plotnosti, vlazhnosti i napryazhennogo sostoyaniya [Experimental studies of the velocities of elastic transverse waves in soil cement depending on density, moisture content and stress state] // Geotechnics. - M., 2019. No.3. P. 6-21. [in Russian]
9. Levchenko A.V., Putilin E.I. Ukrepleniye pereuvlazhnennykh gruntov v dorozhnom i aerodromnom stroitel'stve [Strengthening waterlogged soils in road and airfield construction] // Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov / Osnovaniya i

fundamenty [Interuniversity collection of scientific papers / Foundations and foundations] Perm: RIO Perm Polytechnic Institute, 1979. P.166-172. [in Russian]
10. Sogancin Ali Sinan. Prochnostnyye kharakteristiki shinno-peschanykh smesey [Strength characteristics of tire-sand mixtures] // Strength characteristics of tire-sand mixtures [Foundations, foundations and soil mechanics] M: Stroyizdat, 2014. No.5. P. 25-27. [in Russian]
11. Shanshabaev N.A., Usenbaev B.U., Turlybaeva B. Issledovaniye fosfogipsa dlya ispol'zovaniya v kachestve osnovaniya [Study of phosphogypsum for use as a base] // Trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii / Sovremennaya stroitel'naya nauka, sostoyaniye i perspektivy razvitiya. [Proceedings of the international scientific and practical conference / Modern construction science, state and development prospects] Almaty: KazNIISSA, 2016. P. 91-93.
12. Kuznetsova A.S., Ofrikhter V.G., Ponomarev A.B. Issledovaniye prochnostnykh kharakteristik peska, armirovannogo diskretnymi voloknami polipropilena [Study of strength characteristics of sand reinforced with discrete polypropylene fibers] // Vestnik PNIPU / Stroitel'stvo i arkhitektura [Bulletin of PNIPU / Construction and architecture] Perm: PNIPU, 2012. No. 1. P.44-55. [in Russian]
13. Ofrikhter V.G., Ofrikhter Ya.V. Otsenka mekhanicheskoy polzuchesti fibropeska po rezul'tatam kompressionnykh ispytaniy [Evaluation of mechanical creep of fiber sand based on the results of compression tests] // Izvestiya Kazanskogo GASU / Osnovaniya i fundamenta, podzemnyye sooruzheniya [News of Kazan State University of Architecture and Civil Engineering / Foundations and bases, underground structures] Kazan: KSUACE, 2014. No.4(30). P.222-229. [in Russian]
14. Kolesova A.S., Shangina Yu.M., Grishina A.S. Analiz effektivnosti primeneniya fibroarmirovannogo peska pri ustroystve nasypey avtomobil'nykh dorog i obratnoy zasypki podpornykh sten [Analysis of the efficiency of using fiber-reinforced sand in the construction of road embankments and backfilling of retaining walls] // Geotechnics. M., 2016. No.4. P.10-15. [in Russian]
15. Grishina A.S. Analiz raboty fibroarmirovannogo grunta v kachestve obratnoy zasypki uderzhivayushchikh konstruktsiy: dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. [Analysis of the performance of fiber-reinforced soil as backfill for retaining structures: dissertation for the degree of candidate of technical sciences] Specialty: 2.1.2. – Perm: PNIPU, 2022. 121 p. [in Russian]
16. Bekbasarov I.I. Opredeleniye diametra uplotnennoy zony grunta, formiruyushcheysya vokrug vytrambovyvayemogo kotlovana neglubokogo zalozheniya [Determination of the diameter of the compacted soil zone formed around a shallow rammed pit] // Proceedings of KSTU. - Karaganda, 2004. No 4(17). P. 85-88. [in Russian]
17. Bekbasarov I.I., Alimbaev B.A. Ob opredelenii diametra uplotnennoy zony, formiruyushcheysya v grunte vokrug fundamenta s ushirennym osnovaniyem [On determining the diameter of the compacted zone formed in the soil around a foundation with a widened base] // Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii po problemam vodnogo khozyaystva [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference on Water Management Problems] Taraz, 2006. P.251-255. [in Russian]
18. Bekbasarov I.I. Osnovy ratsional'nogo vytrabovyvaniya kotlovanov pod fundamenty. Monografiya. [Fundamentals of rational excavation of foundation trenches. Monograph] // Taraz: Taraz University Publishing House, 2011. 155 p. [in Russian]
19. Boldyrev G.G., Malyshev M.V. Mekhanika gruntov. Osnovaniya i fundamenty [Soil Mechanics. Foundations and Footings] [Text]: textbook / 4th ed., revised and enlarged. – Penza: PGUAS, 2009. – 412 p. [in Russian].

МРНТИ 67.15.39

Р.У. Нурымбетова[1] – *основной автор*,
Р.А. Риставлетов[2], Н.А. Сузев[3], Э.Н. Калшабекова[4], М.А. Камбаров[5], Р.Б. Кудабаев[6], А.К. Орынбасаров[7]

©

[1]Докторант, [2,4]Канд техн. наук, доцент,
[3,5,7]Канд. техн. наук, профессор, [6]PhD, ст. преподаватель

ORCID
[1]https://orcid.org/0000-0002-5644-6410 [2]https://orcid.org/0000-0001-7106-6611
[3]https://orcid.org/0000-0002-7622-9034 [4]https://orcid.org/0000-0001-9941-688X
[5]https://orcid.org/0000-0001-6397-1451 [6]https://orcid.org/0000-0003-3482-8423
[7]https://orcid.org/0009-0007-9953-0755

[1,2,3,4,5,6,7]Южно-Казахстанский Университет им. М. Ауэзова,
Шымкент, Казахстан

@ *[6]kudabaev_81@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/ZLLS1468

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

Аннотация. В данной статье приведены результаты математического моделирования влияния состава тяжелого бетона на природных заполнителях и техногенных отходах. На основании полученных зависимостей определено, что наиболее сильное влияние на изменение средней плотности оказывает расход цемента (X1). Ввиду достаточно значительной разности плотностей цементного камня и заполнителей на основе техногенных отходов, данный эффект является вполне очевидным. Выявлен отрицательный линейный эффект водоцементного отношения (X2) на плотность композита, которая объясняется повышением пористости цементного камня при повышении его водосодержания, что в последующем приводит к снижению плотности материала. Установлен положительный эффект изменения прочности тяжелого бетона при повышении содержания цемента (x_1 = + 0,99) и водоцементного отношения (x_2 = + 1,9). Как и большинство бетонов гидратационного твердения, увеличение содержания, вяжущего благоприятно влияет на формирование прочностных характеристик материала. Определено, что изменения поверхностей отклика (Y_ρ и Y_R) имеют практически одинаковое направление, а также идентичные причинно-следственные связи с входными факторами (X_1 и X_2). Во всех смесях 50% соотношение факторов дал хороший результат.

Ключевые слова: матиматическое моделирование, тяжелый бетон, техногенные отходы, физико-механические свойства.

Нурымбетова, Р.У. Математическое моделирование влияния заполнителей на основе отходов горнодобывающих предприятии на физико-механические свойства тяжелого бетона [Текст] / Р.У. Нурымбетова, Р.А. Риставлетов, Н.А. Сузев, Э.Н. Калшабекова, М.А. Камбаров, Р.Б. Кудабаев, А.К. Орынбасаров //Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №2(92). – С.358-376. https://doi.org/10.55956/ZLLS1468

Введение. В Казахстане в связи с ростом добычи и переработки минерального сырья образовались огромные объемы промышленных отходов. На предприятиях горнопромышленного производства в отвалах и хвостохранилищах находится более 20 миллиардов тонн техногенных минеральных образований и ежегодно образуется еще около 700 миллионов тонн, а переработка их не достигает даже 10% [1,2] в связи с чем возникает острое необходимость утилизации данных отходов.

Только на юге Казахстана имеются огромные запасы отходов, потенциально пригодных для производства строительных материалов, из них 182 млн. тонн хвостохранилища Ачисайского полиметаллического завода [2].

Обзор научной литературы в данной области показывает, что имеется значительная мировая практика проведения исследований по использованию техногенного минерального сырья в производстве строительных материалов. Так, в дальнем зарубежье горнопромышленные отходы находят применение для получения кирпича [3], бетона [4], стеклокерамики [5], для производства фосфорсодержащего шлакового вяжущего [6,7], а доменные гранулированные шлаки можно применять в качестве инициаторов спекания и кристаллизации на основе композиции в керамических массах для производства керамической брусчатки [8,9] и т.д.

Вопросам теоретического обоснования комплексного использования техногенных отходов в производстве строительных материалов посвящены труды многих зарубежных и отечественных ученых [10-12].

Анализ показывают, что в отходах обогащения полиметаллических руд содержание карбонатов составляет 50-70%, что дает возможность их использования в качестве карбонатсодержащей добавки к цементу и установлено, что присутствие сульфата бария, вводимого с отходами обогащения полиметаллических руд, может повысить защитные свойства композиционного цемента от гамма и рентгеновского излучения [13]. В работе [14] приведены исследования по применению хвостовых отходов обогащения полиметаллических руд АО «Ачполиметалл», в производстве облицовочных плит.

Авторы [15,16] предлагают использовать баритовые отходы в качестве наполнителя и заполнителя для тяжелых бетонов, с частичной или полной заменой кварцевого песка в составе бетонной смеси. При этом наблюдается прирост величины коэффициента линейного поглощения γ-лучей до 19%, однако частичная замена кварцевого песка в объеме 40% на баритовый позволяет добиться защиты как от γ-лучей, так и от нейтронного излучения. Установлено, что при грамотной оптимизации состава бетона на баритовом песке, можно получить превосходящие механические показатели чем на кварцевом песке [17,18].

Известно, что, применение таких заполнителей влияет на прочностные, деформационные и долговечностные характеристики бетона и их влияние комплексное и часто нелинейное (зависит от гранулометрии, плотности, пористости, химического состава, влажности и т.д.) и при этом экспериментальная оптимизация состава - затратный и длительный процесс. Математическое моделирование позволяет снизить число экспериментальных серий, предсказывать свойства при различной комбинации факторов и ускорить внедрение новых материалов.

Поэтому создание математической модели, учитывающей специфические свойства заполнителей, долю в бетонной смеси и их влияние

на физико-механические свойства тяжёлого бетона представляется актуальным в получении зависимости физико-механических свойств от состава и содержания сырьевых материалов.

Целью данного исследования является разработка работоспособной математической модели для прогноза ключевых физико-механических характеристик тяжёлого бетона при использовании заполнителей из горно-добывающих отходов и дать рекомендации по оптимизации состава.

Условия и методы исследований. В качестве сырьевых материалах в данных исследованиях использовались портландцемент марки Цем II/А-Ш 32,5 Н, ТОО «Стандартцемент», щебень и песок ТОО «Бадам», и техногенные отходы южного Казахстана, отсевы Ачисайского полиметаллического завода (Achots) и хвосты обогащения Ансайского месторождения г. Кентау (Anskhv) с целью использования их в качестве заполнителей (щебня, песка) и минеральных добавок для бетонов различного назначения.

Рентгенодифрактометрические анализы (рис. 1, 2) проведены на приборе D&ENDEAVOR фирмы Bruker (Германия) с Cu- излучением, β фильтре. Условия съемки дифрактограммы U=35 kB; I=20 mA; съемки Q-2Q; детектор 2 грд/мин. Интерпретация дифракторграмм проводилась с использованием данных картотеки JCDD: база порошковых дифрактометрических данных PDF2 и дифрактограмм чистых от примесей минералов. Химический состав отходов определялся методом растровой электронной микроскопии, выполненные на растровом электронном микроскопе (РЭМ) JEOL-6490 LV. Анализы проведены в Лаборатории «КиБМ» Южно-Казахстанского Университета им. М. Ауезова в г Шымкенте.

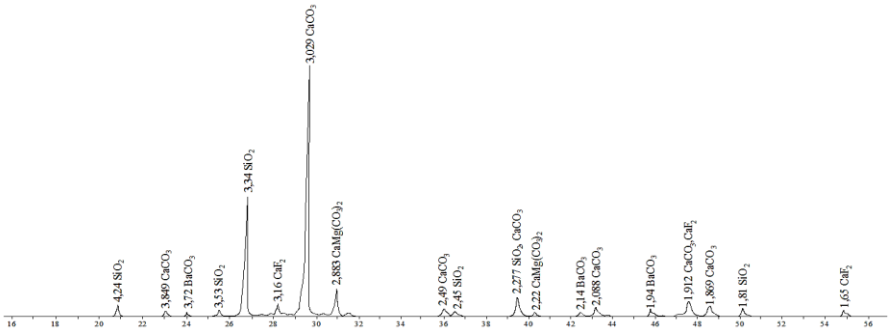


Рис. 1. Рентгенодифрактометрический анализ хвостов обогащения Ансайского месторождения (Anskhv)

Как видно из рисунка 1 хвосты представлены минералами: $CaCO_3$ (карбонат кальция) d=(3.849-3.029-2.49-2.277-2.088-1.912-1.626 A^0), SiO_2 (кварцит) d=(4.24-3.53-3.34-2.45-2.28-1.81-1.54 A^0), $CaMg(CO_3)_2$ (доломит) d=(2.883-2.22-1.54A^0), $BaCO_3$ (витерит) d=(3.72-2.14-1.94-1.52A^0), CaF_2 (флюорит) d=3.16-1.912-1.65 A^0, $CaMg(CO_3)_2$ (доломит) d=2.883-2.22-1.54 A^4

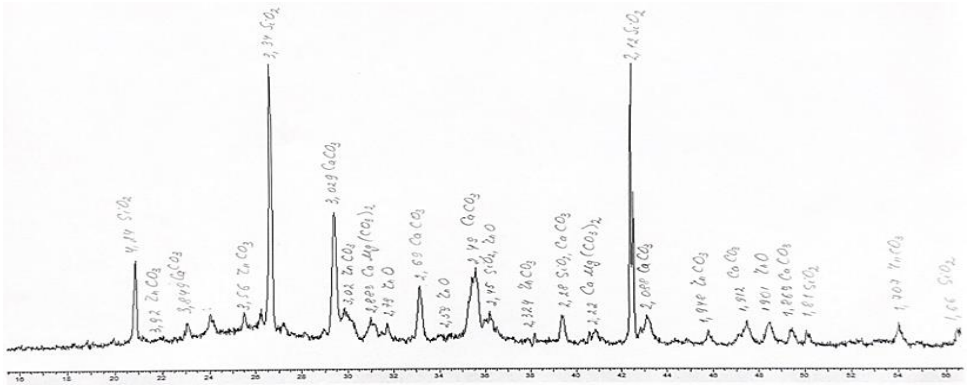


Рис. 2. Рентгенодифрактометрический анализ хвостов обогащения Ачисайского хвостохранилища

Рентгенодифрактометрический анализ отсевов Ачисайского хвостохранилища идентифицировал наличие $CaCO_3$ (карбонат кальция) d= (3,849-3,029-2,49-2,277-2,088-1,912-1,869-1,626A^0), SiO_2 (кварцит) d=(4,24-3,34-2,45-2,28-1,81-1,66-1,54A^0), $CaMg(CO_3)_2$ (доломит) d=(2,883-2,22-1,54A^0), $ZnCO_3$ (смитсонит) d=(3,92-3,56-3,02-2,79-2,324-1,948-1,727-1,495A^0), ZnO (цинкит) d=2,79-2,594-2,45-1,901-1,49 A^0.

Физико-механические свойства щебня и песка на основе техногенных отходов исследовались в соответствии требовании ГОСТ 8735-88 СТ РК 1217-2003.

Таблица 1

Основные характеристики песка из отсевов Ачисайского месторождения

Полные остатки (%) на ситах, мм						Модуль крупности	Межзерновая пустот ность, %	Истинная плотность, кг/м^3	Насыпная плотность, кг/м^3
5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16				
3,6	67,4	80	87,4	90	92,4	4,43	47,5	2500	1312

Таблица 2

Основные характеристики песка из отсевов Ансайского месторождения

Полные остатки (%) на ситах, мм						Модуль крупности	Межзерновая пустот ность, %	Истинная плотность, кг/м^3	Насыпная Плотность, кг/м^3
5,0	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16				
2,0	31,4	46,2	68,4	80,4	89,2	3,7	58	3300	1388

Для выполнения поставленной задачи были определены качественные характеристики техногенного сырья и разработаны составы тяжелого бетона (табл. 3) с использованием отсевов Ачисайского полиметаллического завода и хвостов обогащения Ансайского месторождения в качестве мелкого и крупного заполнителя.

Результаты исследовании удобоукладываемости бетонных смесей из отходов промышленности представлены в таблице 4.

Таблица 3

Составы тяжелого бетона на основе отходов

Составы бетона	Состав бетона на 1м^3, кг			
	Цемент	Шебень	Песок	Вода
Контрольный состав на традиционных заполнителях	432	1200	720	182
На заполнителях Anskhv (25%)	432	300	180	182
На заполнителях Anskhv (50%)	432	600	360	182
На заполнителях Anskhv (100%)	432	1200	720	182
На заполнителях Achots (25%)	432	300	180	182
На заполнителях Achots (50%)	432	600	360	182
На заполнителях Achots (100%)	432	1200	720	182

Таблица 4

Результаты исследовании удобоукладываемости бетонных смесей из отходов промышленности

Наименование бетонных смесей	Подвижность (см)	Жесткость (сек)
Контрольный состав на традиционных заполнителях	1	
На заполнителях Anskhv (25%)		16
На заполнителях Anskhv (50%)	3	
На заполнителях Anskhv (100%)	1	
На заполнителях Achots (25%)	5	
На заполнителях Achots (50%)		28
На заполнителях Achots (100%)		120

Для математического моделирования был выбран матричный метод, поскольку он обеспечивает системное, формализованное и количественно обоснованное изучение факторов, определяющих влияния сырьевых компонентов на свойства бетона. Данный метод является эффективным инструментом для анализа сложных многопараметрических систем, где результаты зависят от большого количества взаимосвязанных переменных.

Результаты исследований. Предварительное проектирование состава тяжелого бетона производилось по методу абсолютных объемов [19,20], в соответствии с которым был выполнен расчет предварительного состава бетонной смеси на основе природных заполнителей и отходов производства (табл. 3).

По данным таблиц 3 и 4 для математического моделирования были рассмотрены 4 фактора: x_1 – цемент, x_2 – щебень, x_3 – песок, x_4 – вода.

Была поставлена задача найти оптимальный состав бетона при использовании этих факторов.

Матрица планирования рассчитывалась следующим образом:

	a11	*a12*	*a13*	*a14*
a11	1			
a12	-1	1		
a13	-1	1	1	
a14	0,6262	-0,62625	-0,626248275	1

Вычисленные коэффициенты матрицы показывают плотность связи между факторами. Чем больше их абсолютная величина, тем ближе

соответствующий фактор к результату. Анализ матрицы планирования состоял из двух этапов:

– при наличии в первом столбце матрицы $|r|$ < 0,5 элементов, условие которых выполняется, соответствующие этому факторы исключаются из модели. В нашем случае таких факторов нет.

– при анализе тесной взаимосвязи коэффициентов, взвешенных в матрице факторов (rXiXj), необходимо было оценить их независимость друг от друга. Это необходимое условие регрессионного анализа.

Также были вычислены параметры, проверяющие уравнение регрессии на адекватность:

– R индекс корреляции множественной регрессии;

– R-коэффициент детерминации квадратичной регрессии.

Точность аппроксимации высока, если значение > 0,95, точность аппроксимации достаточна, если 0,6 < R < 0,95, точность аппроксимации недостаточна, если R < 0,5, требуется улучшение, улучшение модели. По нашим расчетам значения всех параметров находятся на достаточном уровне.

Регрессионная статистика	
Множественный R	0,817414061
R-квадрат	0,668165747
Нормированный R-квадрат	0,469065195
Стандартная ошибка	0,157757944
Наблюдения	9

Количество наблюдений 9. Эти параметры наблюдений приведены в таблице 5.

Таблица 5

Параметры наблюдений

Наблюдение	*Предсказанное H2*	*Остатки*	*Стандартные остатки*
1	0,478587117	-0,228587117	-1,832822899
2	0,546082089	-0,046082089	-0,369488488
3	0,639592786	0,110407214	0,885250544
4	0,248044559	0,001955441	0,015678824
5	0,359018404	0,140981596	1,130397471
6	0,822907342	-0,072907342	-0,584574705
7	0,355516833	-0,105516833	-0,846039228
8	0,42835387	0,07164613	0,574462241
9	0,621897	0,128103	1,02713624

По результатам были определены что значения остатков очень малы и удовлетворяют условиям, стандартная ошибка - отклонения наблюдаемых значений от линии регрессии также удовлетворяют условиям. В ходе дисперсионного анализа были рассчитаны следующие параметры:

df- степень свободы регрессии-равна числу коэффициентов регрессии.

$$df = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}+\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2/(n_1-1)+\left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2/(n_2-1)} \quad (1)$$

где, SS – средний квадрат регрессии.

$$SS = SSa + SSt, \quad (2)$$

где: SS – общая сумма квадратов отклонений; SSa – сумма квадратов отклонений под действием фактора a; SSt – сумма квадратов отклонения ошибки.

В общем случае рассчитывается по следующей формуле:

$$SS_t = \sum_{i=1}^{a} \sum_{j=1}^{x_i} \quad (3)$$

где, MS – средние остаточные квадраты регрессии, которая рассчитывается по следующим формулам:

$$MS_a = \frac{SS_a}{a-1} \quad (4)$$

$$MS_l = \frac{SS_l}{n-a} \quad (5)$$

где, F – коэффициент критерия Фишера, вычисляли через средние остаточные коэффициенты регрессии:

$$F = \frac{MS_a}{MS_l} \quad (6)$$

Таблица 6

Результаты вычисления средних остаточных коэффициентов регрессии

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	4	2,666666667	7,16666667	0,98520314	0,44562315
Остаток	1	5,698321	1,5986863		
Итого	5	29,66666667			

Проверяем достоверность результатов регрессионного анализа по критериям Стьюдента. Т – критерий Стьюдента используется для определения статистической значимости различий между средними значениями. Независимые выборки могут использоваться как при сравнении, так и при сравнении связанных популяций. Данные в столбце t, статистика в расчетах, дают значения критериев Стьюдента и определяются по следующей формуле:

$$t = \frac{X_1 - X_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (7)$$

Полученное значение t-критерия Стьюдента должно быть правильно проанализировано. Для этого берем количество изученных факторов в каждой группе (n_1 и n_2). Число степеней свободы f находим по формуле:

$$f = (n_1 + n_2) - 2 \quad (8)$$

После этого определяем критическое значение t-критерия Стьюдента на требуемый уровень значимости и количество степеней свободы f по заданной

таблице. Необходимо сравнить критические и расчетные значения критерия, для этого:

– делаем вывод о статистической значимости различий между сравниваемыми величинами, если расчетное значение t-критерия Стьюдента равно или больше критического значения, найденного в таблице.

– если значение расчетного t-критерия Стьюдента меньше значения в таблице, то различия сравниваемых величин статистически не значимы.

Таблица 7

Результаты регрессионного анализа

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	7,105427358	0,235642	0,23654	0,00235642	7,105427358	7,542736	5,265489	2,135648
X 1	0,0000526	0,256987	0,55659	0,00021563	0,000526489	0,000526	0,000526	0,000526
X 2	0,0833333	0,895647	0,12457	0,40569871	0,083333333	0,083333	0,083333	0,083333
X 3	0,0002547	0,145214	0,25878	0,25064789	0,000254658	0,000255	0,000255	0,000255
X 4	0,0005649	0,569452	0,25698	0,12135465	0,000564859	0,000565	0,000565	0,000565

По результатам регрессионного анализа получаем уравнение регресии:

$$y = 7.105 + 0.0000526 \cdot x_1 + 0.0833 \cdot x_2 + 0.00025 \cdot x_3 + 0.00056 \cdot x_4$$

Уравнение регрессии было решено с помощью программного пакета MatLab и получены следующие значения:

Таблица 8

Значения уравнения регрессии

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    8.9536    8.9542    8.9548    8.9554    8.9560    8.9566    8.9572
    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    9.6269    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   10.4655   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
```

Продолжение таблицы 8

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	7.4538	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	9.2963	9.2969	9.2975	9.2981	9.2987	9.2993	9.2999	9.3005
9.4609	9.4616	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	9.9696	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	11.6468	11.6474	11.6480	11.6486

На основе полученных результатов был построен график для всех факторов (рис. 4).

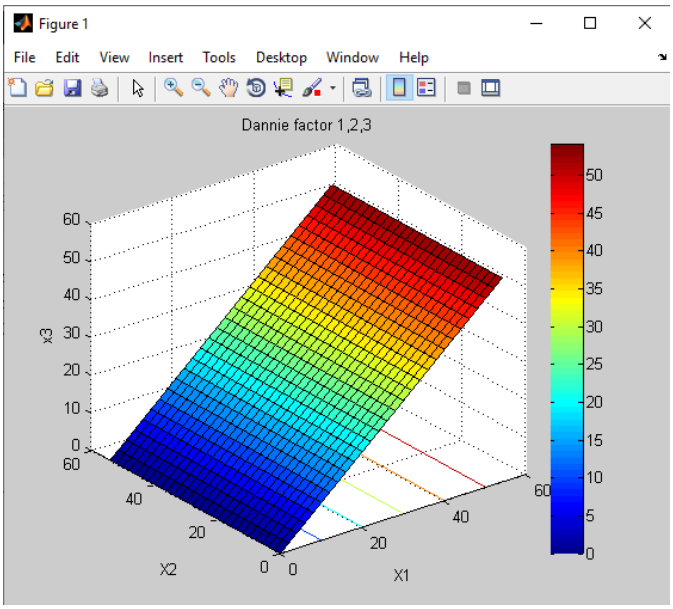


Рис. 3. Результат решения уравнения регрессии

На основании полученных зависимостей можно сделать вывод, что наиболее сильное влияние на изменение средней плотности оказывает расход цемента (X_1). Ввиду достаточно значительной разности плотностей цементного камня и заполнителей на основе техногенных отходов, данный эффект является вполне очевидным. Выявлен отрицательный линейный эффект водоцементного отношения (X_2) на плотность композита. Это объясняется повышением пористости цементного камня при повышении его водосодержания, что в последующем приводит к снижению плотности

материала. Установлен положительный эффект изменения прочности тяжелого бетона при повышении содержания цемента (x_1 = + 0,99) и водоцементного отношения (x_2 = + 1,9). Как и большинство бетонов гидратационного твердения, увеличение содержания, вяжущего благоприятно влияет на формирование прочностных характеристик материала.

Было установлено что, самый весомый вклад в формирование прочности оказывает водоцементное отношение. В эксперименте водоцементное отношение варьируется от 0,4 до 0,42. При минимальных значениях водоцементного отношения наблюдается резкое снижение прочности при сжатии. Это связано, во-первых, с нехваткой воды затворения для обеспечения реакции гидратации, во-вторых, миграцией части воды в поверхностные слои гранул шлака. Минимальная плотность и прочность наблюдаются при расходе цемента 320 кг/м^3 и водоцементном отношении 0,4. Максимальная плотность и прочность выявлены при расходе цемента 420 кг/м^3 и водоцементном отношении 0,42. Совместные влияния факторов на изменения выходных данных не обнаружены.

В целом особенности изменения поверхностей отклика ($Y\rho$ и Y_R) имеют практически одинаковое направление, а также идентичные причинно-следственные связи с входными факторами (X_1 и X_2). Во всех смесях 50% соотношение факторов дал хороший результат.

Обсуждение научных результатов. Для оптимизации состава бетона с целью повышения его физико-механических свойств на основе техногенных отходов, были проведены экспериментальные исследования.

На основе данных, приведенных в таблице 3, для каждого типа заполнителя были рассчитаны соответствующие изменения в составе бетона в зависимости от процентного соотношения техногенных отходов. Это позволила более точно подобрать состав, который обеспечит максимальную прочность и другие необходимые свойства. Для этого были изучены характеристики различных техногенных отходов (Anskhv, Achots) и их влияние на физико-механические свойства бетона (прочность, водопоглощение, морозостойкость).

Составы, представленные в таблице 3, использовали для создания опытных образцов бетона. Например, для каждой группы (25%, 50%, 100% заполнителя) были проведены испытания на прочность на сжатие, водопоглощение и другие ключевые характеристики.

Экспериментальные исследования показали, что с увеличением содержания техногенных отходов в составе бетона необходимо корректировка водоцементного отношения для достижения нужной прочности и других эксплуатационных характеристик. Для этого необходимо экспериментально определить оптимальное соотношение воды и цемента в каждом случае.

Были проведены сравнительные анализы физико-механических свойств бетона с традиционными заполнителями и бетонами с техногенными отходами, которая помогла выявить наиболее эффективные составы для конкретных условий эксплуатации (например, для строительства конструкций, подвергающихся высокой нагрузке или агрессивной внешней среде).

Для того чтобы провести расчет состава бетона с использованием техногенного отхода Anskhv в качестве заполнителя, были подобраны несколько составов (с 25%, 50% и 100% Anskhv) и проанализированы их

влияние на физико-механические характеристики и определены их оптимальность для использования в различных бетонах. Составы приведены в таблице 3.

Для определения их влияния на физико-механические свойства бетона важно понимать, как именно этот материал ведет себя в смеси. Если Anskhv обладает высоким коэффициентом прочности и хорошими характеристиками плотности, его добавление может улучшить некоторые свойства бетона.

Важными характеристиками Anskhv, которые нужно учитывать, являются плотность, прочность и абсорбция воды. Для примера, если Anskhv имеет плотность, аналогичную плотности песка или гравия, его влияние на вес и прочность бетона будет менее значительным. Если же плотность Anskhv больше, это увеличит общий вес бетона.

Прочность бетона зависит от многих факторов, в том числе от типа заполнителя. Если Anskhv обладает хорошими прочностными характеристиками, то его добавление в бетон может улучшить прочность на сжатие.

На основе полученных данных были исследованы физико-механические свойства бетона. В равноподвижных смесях (составы 2 и 5) (ОК ~ 8 см) самый быстрый набор прочности наблюдается в смесях с 25% заменой природных заполнителей на отходы Achots (состав 5). Самая высокая прочность была получена с 50% заменой природного заполнителя на отходы Achots. Практически равные результаты показали составы 1 и 5. Наиболее низкие прочностные показатели были получены при полной замене природного заполнителя на техногенные отходы.

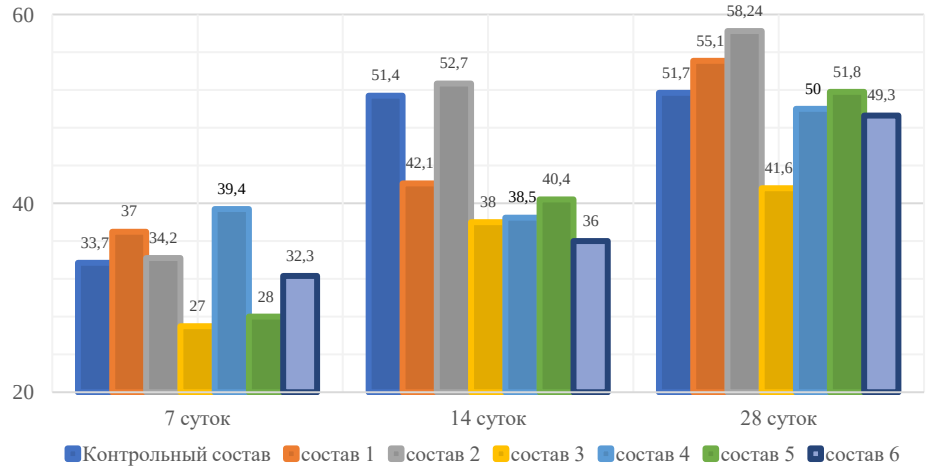


Рис. 4. Кинетика набора прочности бетонов на основе Ансайских (Anskhv) и Ачисайских (Achots) отсевов

Таблица 9

Влияния техногенных отходов на физико-механические свойства бетона

Вид бетона	Плотность бетона, кг\м^3	Прочность 28 суток, МПа	Водо-поглощение, W%	Морозо-стойкость, F (цикл)
1	2	3	4	5
Контрольный состав на	2450	51,7	0,67	F 400

традиционных заполнителях				

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5
№1 На заполнителях Achots (25%)	2455	55,1	0,68	F 200
№2 На заполнителях Achots (50%)	2486	58,24	0,92	F 300
№3 На заполнителях Achots (100%)	2283	41,6	2	F 50
№ 4 На заполнителях Anskhv (25%)	2698	50	0,69	F 300
№5 На заполнителях Anskhv (50%)	2846	51,8	0,5	F 300
№6 На заполнителях Anskhv (100%)	2532	49,3	0,41	F 200

Экспериментально были определены, что:

– для бетона на традиционных заполнителях с обычным песком и шебенем (контрольный состав), прочность на сжатие может составлять около 50 МПа (в зависимости от марки цемента и соотношения компонентов).

– для бетона с 25% заменой традиционного заполнителя на заполнители из отходов, прочность на сжатие может быть аналогичной или немного выше;

– для бетона с 50% Anskhv, прочность также может быть схожа с контрольным составом, но возможно незначительное улучшение за счет большей плотности и прочности материала;

– для бетона с 100% Anskhv возможен незначительное снижение.

Авторами [21] было установлено, что твердеющее тесто на основе портландцемента вступает в реакцию с карбонатным заполнителем, образуя карбонат кальция различного состава, принадлежащий системе $CaCO_3$-$Ca(OH)_2$-H_2O. Отмечается, что кристаллы карбоната кальция имеют сравнительно небольшой размер и свободно расположены среди продуктов гидратации в отличие от крупных ориентированных кристаллов $Ca(OH)_2$. В связи с тем, что в обеих исследуемых отходах большая доля карбоната кальция, наверное, именно это явление способствует повышенной механической прочности контактной зоны между цементным камнем и карбонатной породой, которая приводит к увеличению прочности бетона.

Исследования с помощью оптических методов позволили установить особенности формирование контактной зоны в бетонах с Ансайским заполнителем. На рисунке 10 отчетливо виден контакт с цементной матрицой: поверхность неровная, расплывчатая, плотная, с проникновением цементного камня в глубь заполнителя. Как видно из рентгенодифрактометрического анализа (Anskhv) представленного на рисунке 5, и уже отмеченного авторами [21], карбонатный заполнитель содержащий $CaCO_3$ вступает в реакцию с минералами цементного клинкера образуя систему $CaCO_3$-$Ca(OH)_2$-H_2O.

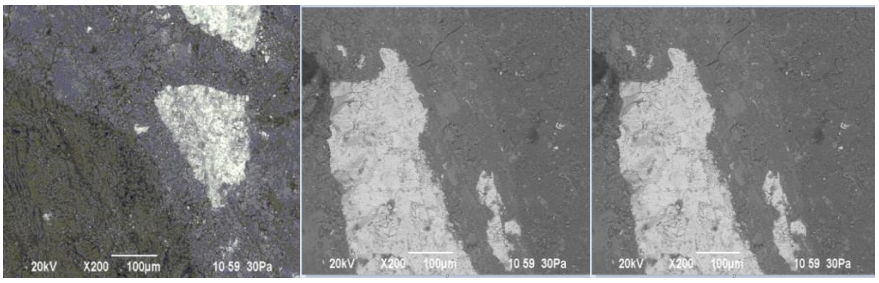
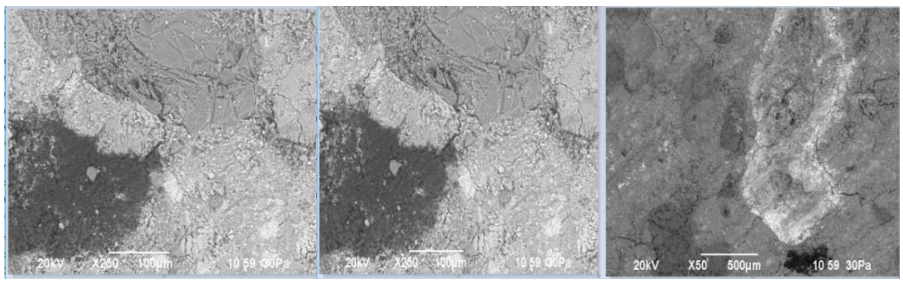


Рис. 5. Микрофотография контактной зоны бетона на основе отсевов Ансайского (Anskhv) месторождения



а б

Рис. 6. Микрофотография контактной зоны бетона на основе отсевов Ачисайского месторождения (Achots)

На рисунке 6 представлена фотография контактной зоны между цементом и ачисайским отсевом. Наблюдается близкая контактная адгезия, за счет шероховатости и неровности поверхности. Это происходит по видимому из-за того, что диоксид кремния заполнителя вступает в реакцию с гидрооксидом кальция образуя низкоосновные гидросиликаты кальция $Ca(OH)_2 + SiO_2 + mH_2O = CaO*SiO_2*nH_2O$.

Плотность бетона будет зависеть от плотности заполнителей. Если заполнитель имеет более высокую плотность, чем обычный песок или щебень, то бетон станет тяжелее. Например, если плотность песка составляет около 1600-1800 кг/м³, а плотность Anskhv – 2000-2200 кг/м³, то увеличение содержания Anskhv повысит плотность бетона, что может повысить его прочность, но одновременно сделает его более тяжелым.

Водопоглощение бетона с Anskhv будет зависеть от свойств самого материала. Техногенные отходы могут иметь разную пористость, что влияет на способность бетона поглощать воду. Увлажнение бетона важно для его долговечности, особенно в условиях низких температур.

Для упрощения расчета использовали типичные объемные доли компонентов в смеси бетона. Плотность бетона с техногенными отходами будет зависеть от плотности компонентов. Допустим, плотность Anskhv равна 2200 кг/м³, плотность песка – 1800 кг/м³, плотность цемента – 1500 кг/м³.

– Объем Anskhv:

V_{Anskhv}=6002200=0,2727 м^3

– Объем песка:

V_{sand}=3601800=0,2 м^3

– Объем цемента:

V_{cement}=4321500=0,288 м^3

– Объем воды:

V_{water}=1821000=0,182 м^3

Общий объем смеси:

V_{total}=0,2727+0,2+0,288+0,182=0,9427 м^3

Плотность бетона с 50% Anskhv:

$\rho_{concrete}$=600+360+432+1820,9427=15740,9427≈1670 кг

Плотность бетона с 50% Anskhv составит приблизительно 1670 кг/м³.

Прочность бетона с 50% Anskhv можно ожидать на уровне 50-55 МПа, если Anskhv обладает хорошими прочностными характеристиками. При этом прочность бетона будет зависеть от качества самого Anskhv и от соотношения воды и цемента. Водопоглощение может быть немного выше для бетона с Anskhv, особенно если этот материал обладает более высокой пористостью, чем обычный заполнитель. Однако для этого состава можно ожидать водопоглощение в пределах 5-7% (при условии, что Anskhv имеет более низкое водопоглощение, чем традиционные заполнители).

Морзостйкость образцов определяли по ускоренному методу. По мнению автора [22] морозостойкость бетонов можно увеличить двумя основными способами: понижением показателя В/Ц путем уменьшения количества вводимой в бетонную смесь воды и увеличением показателя вовлеченного воздуха посредством образования в теле бетона условно-замкнутых пор. В нашем случаии увеличивается плотность бетонов за счет формирования плотной структуры с проникновением цементного камня в глубь заполнителя, которая снижает водопоглащение образцов с повышением морозостойкости.

Для расчета состава бетона с использованием техногенного отхода Achots в качестве заполнителя, были проведены аналогичные расчеты, учитывающие влияние этого материала на состав, физико-механические характеристики бетона и его эксплуатационные свойства.

Как и в случае с другими техногенными отходами, были учтены такие характеристики Achots, как плотность, прочность и водопоглощение.

Заключение. Результаты физико-химических исследований показали наличие в исследуемых техногенных отходах карбоната кальция, кварцита, доломита пригодных для использования в виде заполнителей и минеральных добавок для бетонов. В Achots содержание карбоната кальция и кварцита больше, чем в Anskhv;

На основании математического моделирования и полученных зависимостей определили, что наиболее сильное влияние на изменение средней плотности оказывает расход цемента (X_1). Ввиду достаточно значительной разности плотностей цементного камня и заполнителей на основе техногенных отходов, данный эффект является вполне очевидным.

Был выявлен отрицательный линейный эффект водоцементного отношения (X_2) на плотность композита. Это объясняется повышением пористости цементного камня при повышении его водосодержания, что в последующем приводит к снижению плотности материала.

Установлен положительный эффект изменения прочности тяжелого бетона при повышении содержания цемента (x_1 = + 0,99) и водоцементного отношения (x_2 = + 1,9). Как и большинство бетонов гидратационного твердения, увеличение содержания, вяжущего благоприятно влияет на формирование прочностных характеристик материала.

Установлено что, самый весомый вклад в формирование прочности оказывает водоцементное отношение. При минимальных значениях водоцементного отношения наблюдается резкое снижение прочности при сжатии. Это связано, во-первых, с нехваткой воды затворения для обеспечения реакции гидратации, во-вторых, миграцией части воды в поверхностные слои гранул заполнителя.

Экспериментальными исследованиями подтверждены полученные зависимости.

Бетон с 50% техногенных заполнителях может быть хорошим выбором, если заполнители на основе этих техногенных отходов обладают повышенными прочностными и плотными характеристиками. Такой состав бетона может быть применим в конструкциях, где требуется высокая плотность, но не требуется чрезмерная легкость. Основное преимущества данного бетона возможное улучшение прочности и экономичность за счет использования отходов. Также, это может быть экологически устойчивое решение, поскольку эти заполнители является отходом, который можно перерабатывать в строительный материал.

Список литературы

1. Методическое руководство по изучению и оценке техногенных минеральных объектов, представляемых на государственную экспертизу недр [Электронный ресурс]. Постановление Правительства Республики Казахстан от 21 января 2000 года № 108 «Об утверждении Правил предоставления права недропользования в Республике Казахстан». – Режим доступа: https://onyx-r.kz/rukovodstvo-tmo/.
2. Таймасов Б.Т. Минерально-сырьевые источники для энергосберегающего производства портландцементного клинкера [Текст] / Б.Т. Таймасов, Н.Н. Жаникулов, А.Р. Калтай // Комплексное использование минерального сырья. – 2016. – № 2. – С. 95-101.
3. Sensogut C., Ozdeniz A.H. Bricks manufactured from colliery wastes: a case study // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. – 2006. – Vol. 20, No. 4. – P. 267-271.
4. Salguero F., Grande J.A., Valente T., Garrido R., de la Torre M.L., Fortes J.C., Sanchez A. Recycling of manganese gangue materials from waste-dumps in the Iberian Pyrite Belt – Application as filler for concrete production // Construction and Building Materials. – 2014. – Vol. 54. – P. 363-368.
5. Shi J., He F., Ye C., Hu L., Xie J., Yang H., Liu X. Preparation and characterization of $CaO–Al_2O_3–SiO_2$ glass-ceramics from molybdenum tailings // Materials Chemistry and Physics. – 2017. – Vol. 197. – P. 57-64.
6. Ismailov A., Ristavletov R., Kudabaev R., Saparov S., Sypabekova G. Different types of fillers in fine-grained concrete made from industrial waste with binding material // Journal of Mechanical Engineering Research and Developments. – 2018. DOI: 10.26480/jmerd.01.2018.14-17.
7. Ismailov A., Baybolov K., Ristavletov R., Kopzhasarov B., Kambarov M., Kudabaev R., Ussipbaev U., Mominova S. Effect of Cost-Effective Alkaline Additives on the Hydration of Slag-Cement Mixtures // Journal of Advanced Concrete Technology. – 2018. – Vol. 16. – P. 429-440. DOI: 10.3151/jact.16.429.
8. Omarov B., Montaev S., Ristavletov R., Dosov K., Montayeva N., Dosaliev K. Sintering and Crystallization Intensifiers for Production of Ceramic Paving Blocks by Vibropressing Technology // Periodica Polytechnica Civil Engineering. – 2023. – Vol. 67, No. 3. – P. 706-715. DOI: 10.3311/PPci.21818.
9. Montaev S., Ristavletov R., Omarov B., Ussenkulov Zh., Dosov K. Use of Granulated Metallurgy Slag in the Raw Mix for Producing Ceramic Paving Stones:

Insights from an Experiment in Kazakhstan // ISVS e-journal. – 2023. – Vol. 10. – Issue 7.
10. Астахова Л.Г. Лекции по дисциплине «Математическая теория плагирования эксперимента [Текст] / Л.Г. Астахова. – Владикавказ, 2013. – 96 с.
11. Конопленко Е.И. Методические указания по курсу «Планирование эксперимента» для студентов заочной формы обучения [Текст] / Е.И. Конопленко. – Москва: Московский государственный университет Пищевой промышленности, 2011. – 41 с.
12. Образцов И.В. Оптимизация зерновых составов цементно-минеральных смесей для производства строительных композитов методами компьютерного моделирования [Текст]: дис. ... канд. техн. наук. – Тверь, 2014. – 131 с.
13. Таймасов Б.Т. Перспективная сырьевая база цементных заводов Казахстана [Текст] / Б.Т. Таймасов, А.Ж. Альжанова, С.Б. Есжанов // Наука и образование Южного Казахстана. – 2011. – № 1(87). – С. 100-105.
14. Айменов Ж.Т. Получение композиционных цементов на основе техногенных отходов [Текст] / Ж.Т. Айменов, А.Ж. Айменов, Н.Б. Сарсенбаев, Б.К. Сарсенбаев // Вестник ГГНТУ. Технические науки. – 2021. – Т. XVII. – № 1(23).
15. Хозин В.Г. Карбонатные цементы низкой водопотребности – зеленая альтернатива цементной индустрии России [Текст] / В.Г. Хозин, О.В. Хохряков, И.Р. Сибгатуллин, А.Р. Гиззатуллин // Строительные материалы. – 2014. – С. 76-82.
16. Kongnengholl K. CEMBUREAU – the cement and energy market in Europe and the world // Cement and Its Application. – 2013. – No. 3. – P. 22-33.
17. Рахимова Н.Р. Влияние добавок золы на свойства шлаковых вяжущих [Текст] / Н.Р. Рахимова, Р.З. Рахимов, Р.Ф. Гатауллин // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2007. – № 3. – С. 70-73.
18. Tarun N.S., Kumar M.S., Kumar P. Investigating the fresh state performance of concrete containing iron slag and recycled concrete aggregates // Materials Today: Proceedings. – 2022. – Vol. 65. – Part 2. – P. 1467-1477. DOI: 10.1016/j.matpr.2022.04.462.
19. Нурымбетова Р.У. Возможности применения отходов свинцового производства в производстве строительных материалов [Текст] / Р.У. Нурымбетова, Р.А. Риставлетов, Э.Н. Калшабекова, С.Т. Дуйсенбаева, Р.Б. Кудабаев // Механика и технологии. – 2024. – № 3(85). – С. 229-239. DOI: 10.55956/ZSJC3549.
20. Phạm Duy Hữu, Nguyễn Ngọc Long. Bê tông cường độ cao và chất lượng cao [High-Strength Concrete and High Quality]. – Hanoi: NXB Xây dựng, 2008. – 151 p. [in Vietnamese].
21. Xie Song-shan. Investigation of adhesion in a contact zone of concrete // Journal of the Chinese Ceramic Society. – 1983. – No. 4. – P. 489-497. [In Chinese].
22. Ахтямов В.Ф. Исследование возможности получения высокоэффективных бетонов на основе отходов от производства нерудных материалов и добавок эфиров поликарбоксилатов [Текст] / В.Ф. Ахтямов, А.С. Батурин, И.А. Елизаров, Э.Н. Хафизова // Международная научно-практическая конференция молодых ученых им. Д.И. Менделеева: материалы конференции. – Тюмень: ТИУ, 2016. – С. 315-318.

Материал поступил в редакцию 29.10.25, принят 08.06.26.

Р.У. Нурымбетова[1], Р.А. Риставлетов[1], Н.А. Сузев[1], Э.Н. Калшабекова[1], М.А. Камбаров[1], Р.Б. Кудабаев[1], А.К. Орынбасаров[1]

[1]М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

ТАУ-КЕН КӘСІПОРЫНДАРЫНЫҢ ҚАЛДЫҚТАРЫ НЕГІЗІНДЕ ТОЛТЫРҒЫШТАРДЫҢ АУЫР БЕТОННЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ-МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІН МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

Аңдатпа. Бұл мақалада табиғи толтырғыштар мен техногендік қалдықтарға ауыр бетон құрамының әсерін математикалық модельдеу нәтижелері келтірілген. Алынған тәуелділіктерге сүйене отырып, орташа тығыздықтың өзгеруіне цемент шығыны (X_1) ең күшті әсер ететіні анықталды. Техногендік қалдықтарға негізделген цемент тасы мен толтырғыштардың тығыздығының айтарлықтай айырмашылығына байланысты бұл әсер айқын көрінеді. Композиттің тығыздығына су-цемент қатынасының (X_2) теріс сызықтық әсері анықталды, бұл цемент тасының кеуектілігінің жоғарылауымен түсіндіріледі, бұл кейіннен материалдың тығыздығының төмендеуіне әкеледі. Цемент (X_1 = + 0,99) және су-цемент қатынасы (x_2 = + 1,9) жоғарылаған кезде ауыр бетонның беріктігін өзгертудің оң әсері анықталды. Көптеген гидратациялық қатайтылған бетондар сияқты, тұтқыр құрамның жоғарылауы материалдың беріктік сипаттамаларының қалыптасуына жағымды әсер етеді. Жауап беттерінің (Y_ρ және Y_R) өзгерістері іс жүзінде бірдей бағытта, сондай-ақ кіріс факторларымен (X_1 және X_2) бірдей себеп-салдарлық байланыста болатыны анықталды. Барлық қоспаларда 50% факторлардың арақатынасы жақсы нәтиже берді.

Тірек сөздер: математикалық модельдеу, ауыр бетон, техногендік қалдықтар, физика-механикалық қасиеттері.

R. Nurymbetova[1], R. Ristavletov[1], N. Suzev[1], E. Kalshabekova[1], M. Kambarov[1], R. Kudabaev[1], A. Orynbasarov[1]

[1]M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

MATHEMATICAL MODELING OF THE EFFECT OF AGGREGATES BASED ON MINING WASTE ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF HEAVY CONCRETE

Abstract. This article presents the results of mathematical modeling of the effect of the composition of heavy concrete on natural aggregates and man-made waste. Based on the obtained dependences, it was determined that cement consumption (X_1) has the strongest effect on the change in average density. Due to the rather significant difference in the densities of cement stone and aggregates based on man-made waste, this effect is quite obvious. A negative linear effect of the water-cement ratio (X_2) on the density of the composite was revealed, which is explained by an increase in the porosity of the cement stone with an increase in its water content, which subsequently leads to a decrease in the density of the material. The positive effect of changing the strength of heavy concrete with an increase in the cement content (x_1 = + 0.99) and the water-cement ratio (x_2 = + 1.9) has been established. Like most hydration-hardened concretes, an increase in the binder content has a beneficial effect on the formation of the strength characteristics of the material. It is determined that the changes in the response surfaces (Y_ρ and Y_R) have almost the same direction, as well as identical causal relationships with the input factors (X_1 and X_2). In all mixtures, a 50% ratio of factors gave a good result.

Keywords: mathematical modeling, heavy concrete, man-made waste, physical and mechanical properties.

References

1. Methodical guidelines for the study and assessment of technogenic mineral objects submitted for state subsoil expertise [Electronic resource]. Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan dated January 21, 2000 No. 108 “On Approval of the Rules for Granting the Right of Subsoil Use in the Republic of Kazakhstan”. – Access mode: https://onyx-r.kz/rukovodstvo-tmo/.
2. Taimasov B.T. Mineral'no-syr'evye istochniki dlya energosberegayushchego proizvodstva portlandtsementnogo klinkera [Mineral and raw material sources for energy-saving production of Portland cement clinker] // Complex Use of Mineral Resources. – 2016. – No. 2. – P. 95-101. [in Russian].
3. Sensogut C., Ozdeniz A.H. Bricks manufactured from colliery wastes: a case study // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. – 2006. – Vol. 20, No. 4. – P. 267-271.
4. Salguero F., Grande J.A., Valente T., Garrido R., de la Torre M.L., Fortes J.C., Sanchez A. Recycling of manganese gangue materials from waste-dumps in the Iberian Pyrite Belt – Application as filler for concrete production // Construction and Building Materials. – 2014. – Vol. 54. – P. 363-368.
5. Shi J., He F., Ye C., Hu L., Xie J., Yang H., Liu X. Preparation and characterization of $CaO–Al_2O_3–SiO_2$ glass-ceramics from molybdenum tailings // Materials Chemistry and Physics. – 2017. – Vol. 197. – P. 57-64.
6. Ismailov A., Ristavletov R., Kudabaev R., Saparov S., Sypabekova G. Different types of fillers in fine-grained concrete made from industrial waste with binding material // Journal of Mechanical Engineering Research and Developments. – 2018. DOI: 10.26480/jmerd.01.2018.14-17.
7. Ismailov A., Baybolov K., Ristavletov R., Kopzhasarov B., Kambarov M., Kudabaev R., Ussipbaev U., Mominova S. Effect of Cost-Effective Alkaline Additives on the Hydration of Slag-Cement Mixtures // Journal of Advanced Concrete Technology. – 2018. – Vol. 16. – P. 429-440. DOI: 10.3151/jact.16.429.
8. Omarov B., Montaev S., Ristavletov R., Dosov K., Montayeva N., Dosaliev K. Sintering and crystallization intensifiers for production of ceramic paving blocks by vibropressing technology // Periodica Polytechnica Civil Engineering. – 2023. – Vol. 67, No. 3. – P. 706-715. DOI: 10.3311/PPci.21818.
9. Montaev S., Ristavletov R., Omarov B., Ussenkulov Zh., Dosov K. Use of granulated metallurgy slag in the raw mix for producing ceramic paving stones: insights from an experiment in Kazakhstan // ISVS e-journal. – 2023. – Vol. 10, Issue 7.
10. Astakhova L.G. Lektsii po distsipline «Matematicheskaya teoriya planirovaniya eksperimenta» [Lectures on the discipline “Mathematical theory of experiment planning”]. – Vladikavkaz, 2013. – 96 p. [in Russian].
11. Konoplenko E.I., Khoreeva N.K., Lapus A.P. Metodicheskie ukazaniya po kursu «Planirovanie eksperimenta» dlya studentov zaochnoy formy obucheniya [Methodical instructions for the course “Planning experiments” for students of correspondence education]. – Moscow: Moscow State University of Food Production, 2011. – 41 p. [in Russian].
12. Obraztsov I.V. Optimizatsiya zernovykh sostavov tsementno-mineral'nykh smesey dlya proizvodstva stroitel'nykh kompozitov metodami komp'yuternogo modelirovaniya [Optimization of grain compositions of cement-mineral mixtures for construction composites by computer modeling methods]: PhD thesis. – Tver, 2014. – 131 p. [in Russian].
13. Taimasov B.T., Alzhanova A.Zh., Yeszhanov S.B. Perspektivnaya syr'yevaya baza tsementnykh zavodov Kazakhstana [Prospective raw material base of cement

plants in Kazakhstan] // Science and Education of Southern Kazakhstan. – 2011. – No. 1(87). – P. 100-105. [in Russian].

14. Aimenov Zh.T., Aimenov A.Zh., Sarsenbaev N.B., Sarsenbaev B.K. Poluchenie kompozitsionnykh tsementov na osnove tekhnogennykh otkhodov [Production of composite cements based on technogenic waste] // Bulletin of GGNTU. Technical Sciences. – 2021. – Vol. XVII, No. 1(23). [in Russian].
15. Khozin V.G., Khokhryakov O.V., Sibgatullin I.R., Gizzatullin A.R. Karbonatnye tsementy nizkoy vodopotrebnosti – zelenaya al'ternativa tsementnoy industrii Rossii [Carbonate cements of low water demand – a green alternative to the cement industry in Russia] // Construction Materials. – 2014. – P. 76-82. [in Russian].
16. Kongnengholl K. CEMBUREAU – the cement and energy market in Europe and the world // Cement and Its Application. – 2013. – No. 3. – P. 22-33.
17. Rakhimova N.R., Rakhimov R.Z., Gataullin R.F. Vliyanie dobavok zoly na svoystva shlakovykh vyazhushchikh [Effect of ash additives on the properties of slag binders] // Construction Materials, Equipment, Technologies of the 21st Century. – 2007. – No. 3. – P. 70-73. [in Russian].
18. Tarun N.S., Kumar M.S., Kumar P. Investigating the fresh state performance of concrete containing iron slag and recycled concrete aggregates // Materials Today: Proceedings. – 2022. – Vol. 65, Part 2. – P. 1467-1477. DOI: 10.1016/j.matpr.2022.04.462.
19. Nurymbetova R.U., Ristavletov R.A., Kalshabekova E.N., Duisenbaeva S.T., Kudabaev R.B. Vozmozhnosti primeneniya otkhodov svintsovogo proizvodstva v proizvodstve stroitel'nykh materialov [Possibilities of using lead production waste in construction materials production] // Mechanics and Technologies. – 2024. – No. 3(85). – P. 229-239. DOI: 10.55956/ZSJC3549. [in Russian].
20. Phạm Duy Hữu, Nguyễn Ngọc Long. Bê tông cường độ cao và chất lượng cao [High-strength concrete and high quality]. – Hanoi: NXB Xây dựng, 2008. – 151 p. [in Vietnamese].
21. Xie Song-shan. Investigation of adhesion in a contact zone of concrete // Journal of the Chinese Ceramic Society. – 1983. – No. 4. – P. 489–497. [in Chinese].
22. Akhtyamov V.F., Baturin A.S., Elizarov I.A., Khafizova E.N. Issledovanie vozmozhnosti polucheniya vysokoeffektivnykh betonov na osnove otkhodov ot proizvodstva nerudnykh materialov i dobavok efirov polikarboksilatov [Study of the possibility of producing high-performance concretes based on waste from non-metallic materials production and polycarboxylate ether additives] // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists named after D.I. Mendeleev. – Tyumen: TIU, 2016. – P. 315-318. [in Russian].

IRSTI 67.11.35

P. Kwarciński ©

Master degree
https://orcid.org/0009-0007-9268-5295
Serwis Polska Sp. z o.o.
Oleśnica, Poland
e-mail: pk2005@gmail.com

https://doi.org/10.55956/NVNH3852

ON THE BEARING CAPACITY OF LARSEN SHEET PILES UNDER STATIC COMPRESSIVE LOAD

Abstract. This article describes the use of steel sheet piles as a permanent structural element supporting compressive loads, as well as methods for calculating their load-bearing capacity. Sheet piles can be used as retaining walls during excavation work, supporting horizontal loads (soil pressure), creating a watertight foundation for the excavation, and later, during the subsequent operation of the structure, they can form an external wall and support compressive loads. Switching from temporary retaining walls to the use of steel sheet piles as permanent walls reduces construction and installation time and generally improves economics.

Keywords: Larsen sheet piles, bearing capacity, static compressive load, soil, retaining walls, foundation.

P. Kwarciński. On the bearing capacity of Larsen sheet piles under static compressive load // Mechanics and Technologies / Scientific journal. – 2026. – No.2(92). – P.377-384.
https://doi.org/10.55956/NVNH3852

Introduction.

Since the early 1980s, Larsen sheet piles have been used to transfer light vertical loads to the ground. In structures such as underground parking lots, piers, bridges, and tunnels, the sheet piles not only function as a support structure under soil and water pressure but also support the weight of the building structure.

At the same time, research began to develop methods for the safe and cost-effective design of sheet piles supporting vertical loads. Tests conducted in France between 1983 and 1986 focused on correlating in-situ soil probing results using a Menard pressuremeter, a CPT penetration probe, and a PAF self-drilling pressuremeter with the results of in-situ static loads on a four-pile sheet pile wall. An extensometer attached to the sheet pile made it possible to separate the soil resistance along the side of the pile from the soil resistance under its tip. The article by M. Bustamante and L. Geneselieg, describing these tests, also proposes a method for calculating the bearing capacity of sheet pile walls under vertical load [1].

Based on research results, the French Central Laboratory of Bridges and Roads in Paris (Laboratoire Central des Ponts et Chausées de Paris) developed the "Technical Rules for the Design and Engineering of Civil Engineering Foundations." Issue 62, Section V ("Fascicule 62 Titre V") of these rules sets forth

pile design requirements. Several sections are devoted to axial loads on sheet piles and their design using in-situ soil test results with a Ménard pressure meter and a CPT penetration probe.

Due to the limited popularity of soil property studies using a Ménard pressure meter, only the method based on CPT penetration probe results is presented below. The original notations from "Fascicule 62 Titre V" are retained in this article.

Materials and methods.

The objective of this study is to determine the bearing capacity of Larsen sheet piles under vertical axial loads, as well as to assess the influence of sheet pile geometry, soil physical and mechanical properties, and the interaction conditions of the sheet pile-soil system on the ultimate load.

The study was conducted using a combination of analytical, numerical, and comparative methods. A computational model of Larsen sheet piles supporting vertical axial loads was developed. In the design model, the sheet pile is considered as a steel element interacting with the surrounding soil mass through lateral friction and soil resistance beneath the bottom edge. The bearing capacity calculation was performed taking into account the combined action of the structure and the underlying soil.

Research results.

Determining the soil resistance under the tip of a sheet pile - Qpu

$$Q_{pu} = \rho_p \times A \times q_u , \tag{1}$$

where: ρ_p is the cross-sectional area reduction factor (Table 1); A is the cross-sectional area of the sheet pile and the soil between the side faces of the sheet pile (Figure 1); q_u is the calculated specific resistance of the soil under the sheet pile tip.

It should be emphasized that during sheet pile installation, the soil between the side faces (inside the "trough") is compacted [2]. This creates a so-called "soil plug," which is why Z-shaped sheet piles must be installed in double panels.

Table 1

Coefficient ρ_p

Cohesive Soils		Cohesionless Soils	
ρ_p	ρ_s	ρ_p	ρ_s
0.50	1.00	0.30	0.50

The value of q_u is determined by the formula:

$$q_u = k_c \times q_{ce} \tag{2}$$

where k_c is a coefficient that depends on the soil type; q_{ce} is the average specific soil resistance to the probe tip (cone), determined by the formula:

$$q_{ce} = \frac{1}{b+3a} \times \int_{D+3a}^{D-b} q_{cc}(z) \times dz \tag{3}$$

where *b* is the smaller of "a" and "h"; *a* is equal to half the width of the foundation if it is greater than 1.0 m and is taken as 0.5 m if the foundation width does not exceed 1.0 m; *h* is the depth of penetration of the sheet pile tip into the bearing soil layer, m; *D* is the depth of sheet pile driving, m; q_{cc} is the adjusted value of the soil resistivity under the probe tip (cone), determined as follows:

- calculate the average value of the soil resistivity under the probe tip (cone) qcm at depth b+3a (Figure 1);
- adjust the graph by removing all values exceeding 1.3 q_{cm};

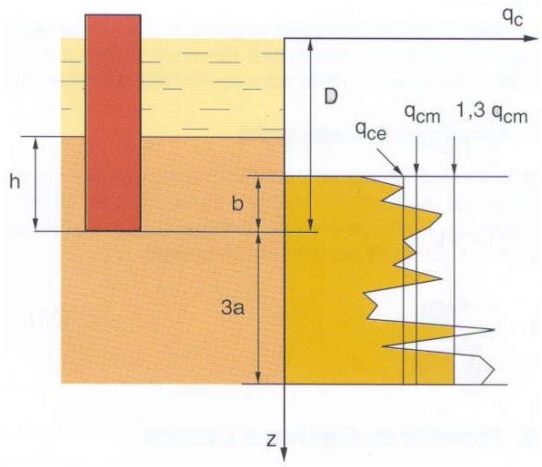


Figure 1. Graphical representation of the method for determining the average soil resistivity under the probe tip (cone)

Table 2

Coefficient k_c

Soil Type	Class	Soil Condition	q_c [MPa]	k_c
Clay, loam	A	Soft plastic	<3.0	0.55
	B	Hard plastic	3.0-6.0	
	C	Hard and semi-hard	>6.0	
Sand, gravel, pebbles	A	Loose	<5.0	0.50
	B	Medium density	8.0-15.0	
	C	Dense	>20.0	

Determining the soil resistance along the lateral surface of a sheet pile - Q_{su}

$$Q_{su} = \rho_s \times P \times \int_0^h q_s(z) \times dz \qquad (4)$$

where ρ_s is the coefficient reducing the cross-sectional area (Table 1); *P* is the perimeter of the sheet pile cross-section (Figure 1); $q_{s(z)}$ is the calculated specific soil resistance along the lateral surface at depth, determined by the formula:

$$q_s(z) = \min\left(\frac{q_c(z)}{\beta}; q_{s\max}\right) \qquad (5)$$

where $q_{c(z)}$ is the specific soil resistance under the tip (cone) of the CPT probe at depth z (the resistance to penetration of the CPT probe at depth z); β is the correction parameter (Table 3); q_{smax} is the maximum permissible value of specific soil resistance along the lateral surface (Table 3).

Table 3

β and q_{smax} values

Soil Type	Class	β	$q_{s\,max}$ [kPa]
Clay, loam	A	-	15
	B	120	40
	C	150	80
Sand, gravel, pebbles	A	300	-
	B	300	-
	C	300	120

Boundary State Verification to Determine Strength

$$Q_{\max,ELU} = \frac{Q_u}{\gamma} \geq F_{ELU} \tag{6}$$

where $Q_{max,ELU}$ is the ultimate design strength of sheet piles on soil; γ is the safety factor, equal to 1.4 for driven piles; F_{ELU} is the sum of the design loads; Q_u is the characteristic ultimate strength of sheet piles on soil, determined by the formula:

$$Q_u = Q_{pu} + Q_{su} \tag{7}$$

Boundary State Verification to Determine Suitability for Service

$$Q_{\max,ELS} = \frac{Q_C}{\gamma} \geq F_{ELS} \tag{8}$$

where: $Q_{max,ELS}$ is the ultimate creep strength of sheet piles on soil; γ is the safety factor, equal to 1.4 for driven piles; F_{ELS} is the sum of the characteristic loads; Q_C is the characteristic creep strength of sheet piles on soil, determined by the formula:

$$Q_c = 0.7 \cdot Q_{pu} + 0.7 \cdot Q_{su} = 0.7 \cdot Q_u \tag{9}$$

Examples of projects in Poland. Comparison of calculations with test loads.

Several projects have been built in Poland using sheet piling as a foundation [3,4]:

- Railway viaduct in Levin Brzeski - thanks to the sheet piling and ready-made prefabricated elements, train traffic was closed for only 48 hours (Figure 2);
- Railway viaduct in Swarzedz on the Warsaw - Berlin line - in this project the bridge slab was slid onto bridge abutments made of sheet piles (Figure 3);
- road viaduct in Warsaw on the S8 road - the viaduct is built on a double row of sheet piles on both sides, the supporting walls are also made of sheet piles;
- road viaduct in Kielce on the S74 road - a roundabout was built above the S74 road. In this case, the integrated viaduct is built on a double row of sheet piles on both sides, the supporting walls are also made of sheet piles (Figure 4);
- berths of the pedestrian bridge above the entrance to the port in Novaya Sol (Figure 5).

Figure 2. Railway viaduct, Lewin Brzeski

Figure 3. Railway viaduct, Swarzędz

Figure 4. Road viaduct, Kielce

Figure 5. Pedestrian bridge piers, Nowa Sól

The most interesting project is the 17.5-meter-wide viaduct built in Rzeszów on Route 4 (Figure 6). The tender for this project also included design work. The best bid was submitted by Skanska, which adopted Aarsleff's idea to build an integrated bridge with a Larsen sheet pile foundation. The construction technology for this project is shown in Figure 8. The bridge was built in 11 months.

Integrated bridges are a very popular solution worldwide. The rigid connection between the bridge slab and the sheet pile wall increases the strength of the entire structure and makes it possible to reduce the thickness of the superstructure, eliminating the need for sliding bearings and expansion joints. This reduces the volume and cost of building materials, and shortens construction time.

Figure 6. Road viaduct, Rzeszow

Aarsleff was responsible for calculating the vertical load-bearing capacity of the sheet piles, driving them, and conducting test static loads. The calculations were performed using Fascicule 62 Titre V and CPT sounding data from the sheet pile installation site. The strength of a single 18.5 m long sheet pile was determined to be 0.9* Nt = 430 kN under a load of 320 kN.

To conduct test loads, an additional single sheet pile was driven near the main wall. After excavation, using the viaduct slab as a counterweight, test loading of the sheet pile was performed (Figure 7). The results showed that the sheet pile strength was lower than the design value but higher than the required loads. This test result was most likely due to the use of water jetting during the first few meters of sheet pile penetration [5].

Figure 7 - Test site

The success of this and other projects gives hope that the use of metal sheet piles as foundations for building structures will become more popular.

Conclusion. A very important factor affecting the vertical load-bearing capacity of sheet piles, which is not considered in this document, is the sheet pile driving technology. The coefficients used in calculations using the "Fascicule 62 Titre V" method were determined for sheet piles driven with diesel hammers. Piles driven with vibratory hammers have lower load-bearing capacity than those driven with pneumatic or diesel hammers. To determine this difference, static load tests were conducted in 2002 on sheet piles driven using these two methods. The greatest difference in readings reached 50% in favor of sheet piles driven with a pneumatic hammer.

In 2006, S. Borel, M. Bustamante, and F. Rocher-Lacoste published the results of these tests and compiled historical results from seven other tests of sheet piles (pipe and reinforced concrete). The authors proposed reducing the soil resistance under the pile tip and along the sheet pile sidewall, calculated according to "Fascicule 62 Titre V," by 50% and 30%, respectively. A solution that can increase the strength of vibratory driven sheet piles is to drive the last 2-3 meters to the specified depth using pneumatic or diesel hammers.

The "Fascicule 62 Titre V" document does not provide any recommendations for conducting static test loads. When conducting such tests, it is important to remember that the sheet piles being tested should not be interlocked with other sheet piles. This is done intentionally to eliminate the influence of friction in the interlocks. Therefore, it is recommended to drive individual test piles in close proximity to the building structures. A second option is to remove adjacent piles from the pile being tested during testing and re-drive them after test loads have been applied, although this method weakens the soil around the piles.

References

1. Borel S., Bustamante M., Rocher-Lacoste F. The comparative bearing capacity of vibratory and impact driven piles / TRANSVIB 2006. Gonin, Holeyman et Rocher-Lacoste (ed.) 2006, Editions du LCPC, Paris
2. Bustamante M., Gianeselli L. Predicting the bearing capacity of sheet piles under vertical load / Proceedings of the 4th International Conference on Piling and Deep Foundations -Stresa (Italy), 7 – 12 April 1991
3. Maksim P., Tomaka W., Sobala D. Grodzice stalowe w podporach zintegrowanego wiaduktu drogowego / Inżynier budownictwa – 02.2011
4. Kwarciński P. Nośność pionowa grodzic / Geoinżynieria: drogi, mosty, tunele - 2008. - T.3 - C. 38-40
5. Regles techniques de conception des fondations des ouvrages de genie civil - Fascicule 62 titre V - Paris 1993

Material received on XX.XX.XX.

P. Kwarciński

Serwis Polska Sp. z o.o. Oleśnica, Poland

СТАТИКАЛЫҚ СЫҒЫМДЫ ЖҮКТЕМЕЛЕР АСТЫНДАҒЫ LARSEN ҚҰРЫЛҒЫ ҚАҒАЗДАРЫНЫҢ ТІРЕКТЕУ ҚАБІЛЕТТІЛІГІ ТУРАЛЫ

Аңдатпа. Бұл мақалада болат қаңылтыр қадаларды қысу жүктемелерін көтеретін тұрақты құрылымдық элемент ретінде пайдалану, сондай-ақ олардың көтеру қабілетін есептеу әдістері сипатталған. Қаңылтыр қадалар қазу жұмыстары кезінде тірек қабырғалары ретінде пайдаланылуы мүмкін, көлденең жүктемелерді (топырақ қысымын) көтере алады, қазу үшін су өткізбейтін негіз жасайды, ал кейіннен құрылымды пайдалануды жалғастыру кезінде олар сыртқы қабырға құра алады және қысу жүктемелерін көтере алады. Уақытша тірек қабырғалардан болат қаңылтыр қадаларды тұрақты қабырғалар ретінде пайдалануға көшу құрылыс және орнату уақытын қысқартады және, әдетте, шығындардың тиімділігін арттырады.

Тірек сөздер: Larsen қадалары, көтеру қабілеті, статикалық қысу жүктемесі, топырақ, тірек қабырғалары, іргетас.

P. Kwarciński

Serwis Polska Sp. z o.o. Oleśnica, Poland

О НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ШПИЛЬНЫХ СВАЙ LARSEN ПРИ СТАТИЧЕСКОЙ СЖИМАЮЩЕЙ НАГРУЗКЕ

Аннотация. В данной статье описывается использование стальных шпунтовых свай в качестве постоянного конструктивного элемента, воспринимающего сжимающие нагрузки, а также методы расчета их несущей способности. Шпунтовые сваи могут использоваться в качестве подпорных стен во время земляных работ, воспринимая горизонтальные нагрузки (давление грунта), создавая водонепроницаемый фундамент для котлована, а впоследствии, в ходе дальнейшей эксплуатации сооружения, могут образовывать наружную стену и воспринимать сжимающие нагрузки. Переход от временных подпорных стен к использованию стальных шпунтовых свай в качестве постоянных стен сокращает время строительства и монтажа и, как правило, повышает экономическую эффективность.

Ключевые слова: шпунтовые сваи Larsen, несущая способность, статическая сжимающая нагрузка, грунт, подпорные стены, фундамент.

МРНТИ 61.13.15

Л.М. Мусабекова[1] – *основной автор*,
Б.Т. Тажибаева[2], Б.О. Торланова[3], Г.С. Оспанова[4]

©

[1]Д-р техн. наук, и.о. профессора, [2]Докторант,
[3]Канд. фарм. наук, и.о. профессора, [4]Канд. фарм. наук, и.о. доцента

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0001-8712-2446 [2]https://orcid.org/0009-0007-2973-0065*
[3]https://orcid.org/0009-0009-5428-599X [4]https://orcid.org/0000-0002-3553-5457

[1,3,4]Южно-Казастанская медицинская академия, Шымкент, Казахстан
[2]Университет им. Ж.А. Ташенева, Шымкент, Казахстан

@ *[2]tbakhyt25@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/QMNB8696

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ОСАЖДЕНИЯ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ СУСПЕНЗИЙ В ПРОТОЧНЫХ СИСТЕМАХ

Аннотация. Разработана компьютерная модель осаждения полидисперсных суспензий. Модель описывает процесс осаждения полидисперсной суспензии в проточных системах. Представлена новая методика расчета распределения дисперсной фазы на выходе из проточного аппарата. Методика основана на построении граничных кривых осаждения для различных фракций дисперсной смеси. На базе новой модели разработана компьютерная программа для расчета эволюции фронтов осаждения, что важно для расчета кинетики осаждения полидисперсных суспензий в природных процессах и промышленных проточных устройствах. Новая методика расчета граничных кривых осаждения позволяет также предложить простой и эффективный метод расчета изменений фракционного состава суспензии на выходе из области течения, а также динамику фронтов осаждения и поверхности осадка, как по высоте реактора, так и по продольной координате проточных аппаратов. В данной работе также впервые разработано и протестировано эффективное программное обеспечение для реализации новой методики расчета.

Ключевые слова: процесс осаждения полидисперсной суспензии, эволюция фронтов осаждения, фракции дисперсной смеси, компьютерная модель осаждения.

Мусабекова, Л.М. Компьютерная модель осаждения полидисперсных суспензий в проточных системах [Текст] / Л.М. Мусабекова, Б.Т. Тажибаева, Б.О. Торланова, Г.С. Оспанова //Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №2(92). – С.385-398. https://doi.org/10.55956/QMNB8696

Введение. Процессы осаждения широко распространены как в природе [1], так и в различных технологических процессах [2]. Эти процессы и явления встречаются в различных природных водоемах: от рек и озер - до морей и океанов. Это также явления, которые происходят в устройствах для производства и очистки целевых технологических суспензий, а также во время очистки выбросов [3,4]. Процессы осаждения также играют важную роль в фармакологии и медицине. С точки зрения характеристик этих процессов, прежде всего, необходимо различать характеристики осаждения в стационарных резервуарах и в проточных системах и аппаратах.

Несмотря на широкое распространение процессов седиментации, как их экспериментальное изучение, так и теоретическое описание сопряжено со многими трудностями, которые могут быть объяснены сложным поведением таких процессов в случае многокомпонентного состава [5,6]. Задачи расчета становятся еще более сложными при описании селективного осаждения полидисперсных суспензий в системах со сквозным течением.

Сила сопротивления жидкости, действующая на сферическую частицу [7-9], зависит от ее размера, относительной скорости движения, вязкости среды и определяется числом Рейнольдса. В условиях, когда такое разделение фракций по дисперсии оказывается слишком грубым, необходимо рассмотреть другие модели. Кроме того, такой подход приемлем только для слабоконцентрированных суспензий, в которых отсутствует влияние частиц одной фракции на гидродинамические условия осаждения другой фракции. Построение теоретических моделей осаждения полидисперсных суспензий является нетривиальной задачей и еще не завершено даже в отсутствие сильного взаимодействия между частицами.

В некоторых работах рассматривается затрудненное (переполненное)осаждение полидисперсной суспензии [10-13]. Требования инженерной практики вынуждают искать пути разработки упрощенных моделей. Ранее авторы представили новый подход к построению макроскопической модели осаждения, основанный на функции распределения частиц в полидисперсной суспензии [14-16]. Основная новизна и фундаментальность представленной в этой работе модели заключается в том, что она построена в виде уравнения диффузии с начальным условием.

Полученные результаты могут быть применены к жидкостям со взвесями достаточно крупных частиц для описания процесса седиментации в стационарных аппаратах [17-20]. Однако при седиментации мелких частиц в проточных системах роль скорости потока и его флуктуаций в интенсивности седиментации возрастает [21-23]. Основная новизна и научный вклад представленной модели заключаются в том, что на ее основе можно рассчитать процесс селективного осаждения в проточных аппаратах [24-26].

Представленная здесь модель является эвристической и содержит некоторые гипотетические положения, которые базируются на анализе теоретических результатов и давно известных надежных экспериментальных данных [27-29], но которые не выведены детально.

Известные методики расчета процессов осаждения мелких дисперсных фракций из суспензии описывают, как правило, процесс седиментации в непроточной емкости, в которой процесс протекает стационарно в течение определенного периода времени. В то же время, не известно до сих пор какой-либо общей методики, позволяющей производить расчет интенсивности процессов седиментации в проточной системе. Однако, такие системы и проточные аппараты для селективной седиментации находят все более широкое применение в современной фармацевтической промышленности и нанотехнологиях.

В статье [30] изучаются седиментация и агрегация частиц, поглощающих подвижные частицы из окружающей среды. Эта модель показывает переход от фрактальных агрегатов при низкой плотности к гомогенным агрегатам при высокой плотности. Модель демонстрирует кинетику, аналогичную кинетике диффузионно-ограниченной агрегации, но не анализирует конкретно вопрос множественной седиментации и агрегации.

Тем не менее, разработанный подход может оказаться перспективным для описания коллективной динамики активных частиц в условиях седиментации и множественной агрегации.

По мнению авторов, этот подход применим к коллективным системам, обменивающимся биологической информацией. При разработке платформы для контроля качества наномедицинских препаратов необходимо учитывать массивную многочастичную седиментацию наночастиц. Отсутствие надежных моделей для этой цели препятствует разработке адресной доставки и персонализированной наномедицины [31]. Особенно сложными являются ранние стадии разработки лекарств, когда эти процессы происходят при высоких концентрациях дисперсной фазы в суспензиях [32].

В статье [33] предложена континуальная модель седиментации и агрегации клеточных культур в питательной среде. Клетки и культуральная среда описываются как двухфазная смесь в специально созданной лунке. Построена математическая модель, учитывающая процессы седиментации и агрегации в присутствии хемоаттрактантов. Значительные проблемы возникают в ситуациях массовой седиментации, которая может привести к неконтролируемому формированию паттернов.

В статье [34] рассматривается крайне актуальная проблема образования, седиментации и агрегации нанопластиковых частиц, представляющая значительную угрозу для водных экосистем. Исследование носит экспериментальный характер и в первую очередь направлено на выявление специфических особенностей агрегационного поведения дисперсий нанопластика в водной среде. В исследовании [35] изучается кинетика седиментации и агрегации микропластиковых частиц в прибрежных зонах.

Авторы приходят к выводу, что береговая линия может быть основным местом накопления микропластика. В работе [36] исследуются различия в механизмах агрегации микро- и нанопластиковых частиц. Данное исследование может послужить основой для оценки экологических рисков распространения микропластика и наночастиц в природных водных системах.

Отмеченное повышение интереса к экологическим проблемам и современным фармацевтическим технологиям привело к недавней публикации ряда работ, посвященных более глубокому анализу кинетических закономерностей процессов седиментации в дисперсных системах и переосмыслению известных моделей. В статье [37] была разработана трехмерная континуальная модель осаждения и образования агрегатов частиц с учетом естественных условий формирования паттернов в реальных дисперсных системах.

В статье [38] был проведен статистический анализ баз данных по доле столкновений частиц в осаждающей в двухфазной системе дисперсной фазе. Эта проблема особенно важна в процессах переноса со смешанной кинетикой, где следует учитывать, как диффузионно-ограниченные, так и кинетические стадии процессов. Показано, что учет массовой седиментации и агрегации в полидисперных суспензиях является сложной и плохо изученной проблемой).

Настоящая работа носит теоретический характер и преследует цель предложить новую концепцию расчета процесса селективной седиментации в проточной полидисперсной системе. Предлагаемая модель может быть использована как в слабо концентрированной, так и в высоко

концентрированной суспензиях. Отличие заключается лишь в том, что скорость осаждения частиц данной фракции и интенсивность случайного дрейфа частиц должна рассчитываться по-разному.

Соответствующая методика может использовать известные соотношения, основанные на расчете коэффициента осаждения в зависимости от чисел Рейнольдса, рассчитанных по относительной скорости [39,40]. Все эти вопросы просто включаются в предлагаемую общую методику, не разрушая самого нового подхода, т.е. модели пограничных кривых. В описанной модели предполагается, что процесс осаждения осуществляется при достаточно малых скоростях несущей сплошной фазы ($W \leq 4$) и при умеренных числах Рейнольдса. При интенсивной развитой турбулентности процесс седиментации вообще не рассматривается, да и не имеет места [39]. Авторы полагают, что новая модель применима в широком диапазоне частиц дисперсной фазы в системе, а именно, как от мелких частиц с характерными размерами порядка долей мм или 1 мм, так и микро – и наночастиц.

Такое предположение авторов обосновывается тем, что согласно концепции модели, для каждой фракции рассчитывается своя пограничная кривая осаждения, а диапазоны интенсивности случайного дрейфа также соответствуют по порядку скоростям осаждения.

Поскольку данная работа представляет новую концепцию и новый методологический подход к математическому описанию селективного осаждения в потоках, в дальнейшем необходимо будет дать более четкую интерпретацию управляющих параметров модели для ряда конкретных процессов, а также проверить ее адекватность на более обширном и разнообразном экспериментальном материале.

Особая задача, поставленная и решенная в данной работе, заключалась в разработке эффективного и удобного для инженерной практики программного обеспечения для эффективной реализации новой методики расчета.

Условия и методы исследований. В этом разделе представлена общая форма модели, и предлагаемая модель анализируется более подробно для частного случая осаждения, которое не сопровождается агрегацией в дисперсной фазе. Анализ представленной модели применительно к осаждению с взаимной агрегацией различных фракций будет проведен и представлен в последующих публикациях.

Разработан новый подход к созданию модели седиментации в проточных аппаратах. Предлагаемый метод расчета процесса селективной седиментации в проточном аппарате основан на представлении о пограничных фронтах седиментации для каждой фракции дисперсной смеси, протекающей через аппарат. Для каждой фракции при заданной продольной скорости потока дисперсии формируются два пограничных фронта – верхний и нижний [41]. Верхний фронт – это кривая, описывающая траекторию движения частицы заданной фракции, поступающей в рабочий объём проточного аппарата в верхней точке начального сечения.

Если при заданном расходе частицы заданной фракции не достигают конечного выходного сечения аппарата, то понятие нижнего фронта не имеет смысла, поскольку верхний фронт заканчивается в нижней части аппарата. Если верхний фронт достигает выходного сечения аппарата, то нижний фронт представляет собой кривую, описывающую траекторию частицы

данной фракции, поступающей в рабочий объем проточного аппарата в некоторой точке начального сечения и достигающей выходного сечения в нижней точке, т. е. на уровне дна.

Верхняя и нижняя граничные кривые осаждения для каждой фракции ограничивают полосу проскока данной фракции через проточный аппарат. Тогда, при равномерном распределении различных фракций на начальном участке на входе в аппарат, изменение доли той или иной фракции в дисперсном составе на выходе из аппарата можно оценить по отношению ширины полосы проскока к общему сечению выхода.

Новая модель основана на следующих допущениях:

1. Можно четко идентифицировать определенное конечное число фракций, которые различаются по порядку, т.е. по характерному размеру.

2. Предполагается, что физический состав дисперсной фазы однороден, т.е. все частицы твердой фазы, уносимые потоком, состоят из одного вещества.

3. Парциальная концентрация твердой фазы не слишком высока. Тогда взаимным влиянием различных фракций на интенсивность их осаждения можно пренебречь. Однако, это предположение не является концептуально критичным, и построенная далее модель может быть развита без этого предположения. В данной работе такое предположение сделано для облегчения четкого описания структуры новой модели.

4. Предполагается, что коэффициенты формы разных частиц существенно не различаются. Таким образом, можно принять единообразную зависимость как коэффициента уноса частиц потоком, так и параметров, определяющих скорость осаждения частиц, от порядка расположения частиц, т.е. от их характерного размера.

5. Предполагается, что распределение частиц различных фракций на входе в устройство является равномерным по всему поперечному сечению входного отверстия. Таким образом, функция частичного распределения в каждой локальной области входного участка одинакова.

Из данных допущениях, выделенных выше, в свою очередь, вытекают положения концепции построения модели: для каждой фракции может быть построен свой собственный фронт осаждения. Это следует из первого, третьего и пятого допущений. Второе и четвертое допущения позволяют использовать единообразные расчетные зависимости для расчета фронтов осаждения различных фракций. Схема модели представлена ниже.

1. В стационарном режиме формируются определенные кривые, которые можно обозначить как фронты осветления фракции или накопления осадков.

2. Имеется фракция, крайний фронт осветления которой простирается от верхней точки начального поперечного сечения до нижней точки конечного поперечного сечения проточного устройства. Этот фронт соответствует наиболее мелкой фракции тех частиц, которые полностью осаждаются вдоль аппарата и не попадают в поток суспензии, выходящий из аппарата $r_1 > r_2 > r_3 > r_4 > r_5$.

3. Фронты осветления мельчайших фракций не заканчиваются в нижней точке аппарата. Поэтому частицы таких фракций покидают аппарат вместе с вытекающим потоком.

4. Пусть символ $C_{r_{cr}}$ обоих графиков означает фронт осветления критической фракции (т.е. наиболее мелкой из фракций, которые полностью

осаждаются в объеме аппарата и не представлены в потоке, выходящем из аппарата).

5. Таким образом, попадание частиц фракций порядка $r \le r_{cr}$ в поток, выходящий из аппарата, происходит в «полосе» между двумя граничными кривыми осаждения: C_r^f и C_r^0. Нижняя граничная кривая C_r^0 для данной фракции r представляет собой траекторию частицы этой фракции, входящей в рабочий объем устройства в определенной точке ниже верхней левой точки и выходящей из устройства в нижней правой точке выпускного сечения.

6. Пусть символ $C_{r_{\min}}$ обозначает фронт осветления самой мелкой из всех фракций в смеси, S – ширина полосы между граничными кривыми осаждения. Тогда средняя концентрация любой фракции из интервала $r_{\min} \le r \le r_{cr}$ на выходе из аппарата для случая дискретного равномерного распределения фракций по входному сечению может быть описана формулой:

$$\left\langle C_r^f \right\rangle = \frac{S_r^0 C_r^0}{\sum_{j=r_{\min}}^{r_{cr}} C_j^0 S_j^0} \tag{1}$$

7. Если, кроме того, скорость осаждения фракций слабо зависит от расстояния до нижней стенки (дна) аппарата и зависит только от порядка распределения фракций, то фронты осаждения будут представлять собой прямые линии. Тогда предыдущую формулу можно переписать как:

$$\left\langle C_r^f \right\rangle = \frac{S_r^f C_r^0}{\sum_{j=r_{\min}}^{r_{cr}} C_j^0 S_j^f} \tag{2}$$

Рассмотрим разработанный нами алгоритм модели:

1. Каждое следующее перемещение частицы вычисляется на основе её предыдущего положения. Для каждого шага используются текущие координаты частицы (u[i-1] и v[i-1]), чтобы рассчитать следующие координаты.

2. Выбор направления: на каждом шаге генерируется случайное изменение для горизонтального (*du*) и вертикального (*dv*) перемещения. Эти значения могут быть -1, 0, или +1, что соответствует движению влево, остаться на месте или движению вправо по горизонтали и аналогично вверх, остаться на месте или вниз по вертикали.

3. Движение частицы внутри прямоугольника размером 500 на 100 ячеек (прямоугольник 500X100). Частица начинает свой путь из крайнего левого верхнего угла и двигается следующим образом: вертикальная составляющая + горизонтальная составляющая. График отражает каждый шаг частицы, а ось *Y* инвертирована для визуального соответствия началу движения из верхнего угла.

4. Подбираются начальные значения координат частицы *V0* =0,5,10, 20, …100 при направлении вертикальных и горизонтальных смещений

r=1,2,3,4,5(порядок частиц) и *ug*=2,4,6,8,10(скорость потока) для кривой. Подбор осуществляется таким образом, чтобы последнее расчетное значение точки приходилось на правый нижний угол прямоугольника:

5. Подбираются начальные значения *r*=1,2,3,4,5 и *ug*=2,4,6,8,10 для *V0,* при которых кривые выходят из прямоугольника, т.е. находятся компьютерным перебором расстояния от нижней правой точки прямоугольника.

Таким образом, определяется величина *V0*, при которой происходит «прорыв» частиц фракций порядка $r \leq r_{cr}$ в поток, выходящий из аппарата. Прорыв происходит в «полосе» между двумя граничными кривыми осаждения C_r^f и C_r^0. Это предположение может быть более или менее приемлемым для дисперсий с низкой концентрацией.

Результаты исследований и их обсуждение. На основе изложеннной в предыдущем разделе методики расчета разработана на языке Python программа для реализации модели. Фрагмент кода на языке Python, используемого для численных исследований с учетом случайных движений потока, показан ниже:

```
def simulate_particle_movement(rows, cols, r, ug, v0, u0, num_steps=500):
    x, y = u0, v0  # Начальные условия
    path = [(x, y)]
    horizontal_steps = 0
    vertical_steps = 0
    for _ in range(num_steps):
        dv = random.choice([-1, 0, 1]) # Шаг по вертикали
        du = random.choice([-1, 0, 1]) # Шаг по горизонтали
         # Положение частицы на каждом шаге
        v = max(0, min(rows+1, y + r + dv))  # V
        u = max(0, min(cols+1, x + ug + du))  # U
        if dv != 0:
            vertical_steps += 1
        if du != 0:
            horizontal_steps += 1
        path.append((u, v))
        x, y = u, v
    return path

          # процедура расчета пути частицы
def draw_path():
    try:
        rows = int(height_entry.get())
        cols = int(width_entry.get())
```

Интерфейс программы в среде PyCharm и пример расчета с построением графика кривых осаждения на основе алгоритма новой модели движения частиц показан на рисунке 1.

Через интерфейс можно изменять начальные данные, высоту, ширину рабочей зоны аппарата, скорость частиц, скорость потока, начальное положение частиц, заносить в журнал и строить по этим данным графики

движения частиц, отдельные графики можно соранять в файлах с расширением *.png:

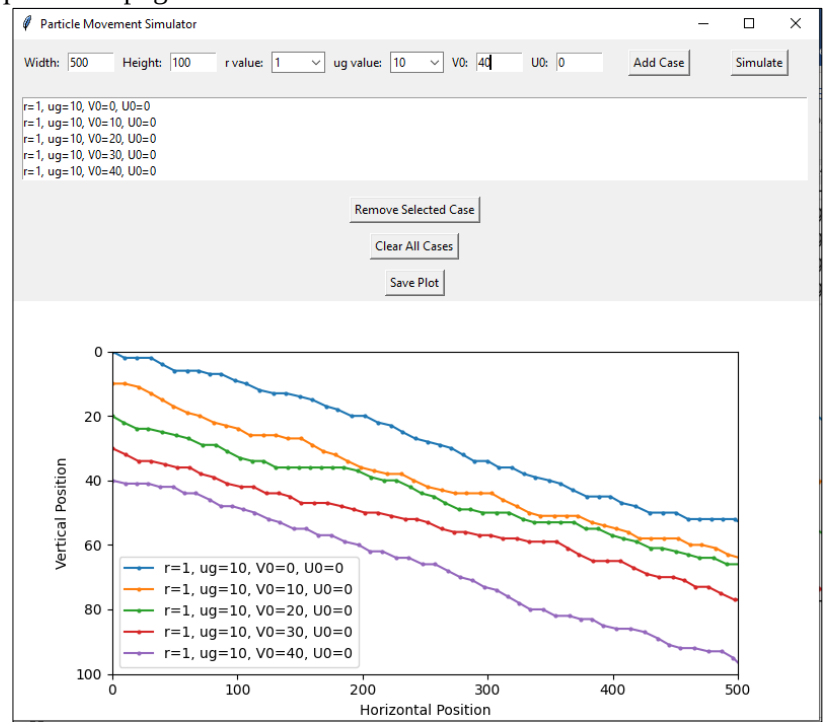


Рис. 1. Интерфейс программы и пример расчета

Была проведена серия численных экспериментов. Результаты проведенного численного эксперимента на основе модели осаждения в проточных аппаратах проиллюстрированы на рисунках 2-4.

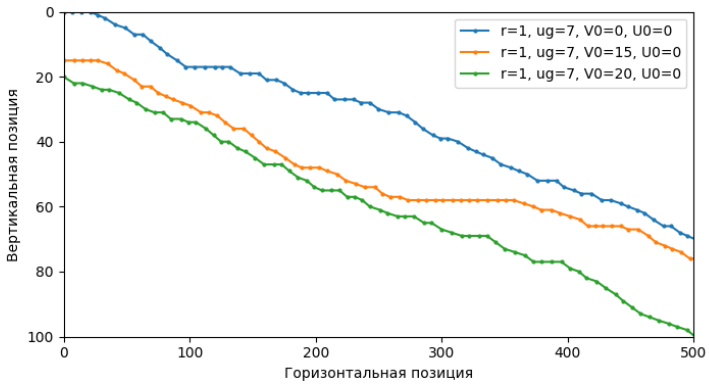


Рис. 2. Пример расчета кривых осаждения для частиц порядка *r*=1 при значениях координаты *V0*=0, *V0*=15, *V0*=20

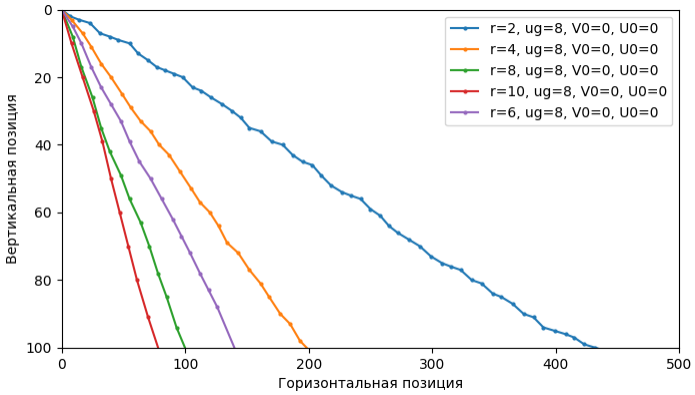


Рис. 3. Пример расчета кривых осаждения для горизонтальной скорости потока U_g=8

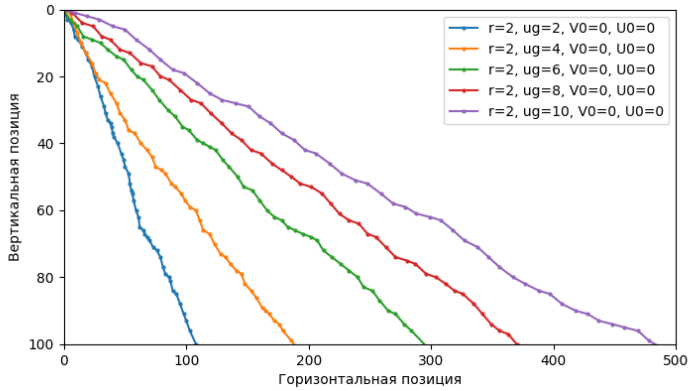


Рис. 4. Пример расчета кривых осаждения для частиц порядка r =2

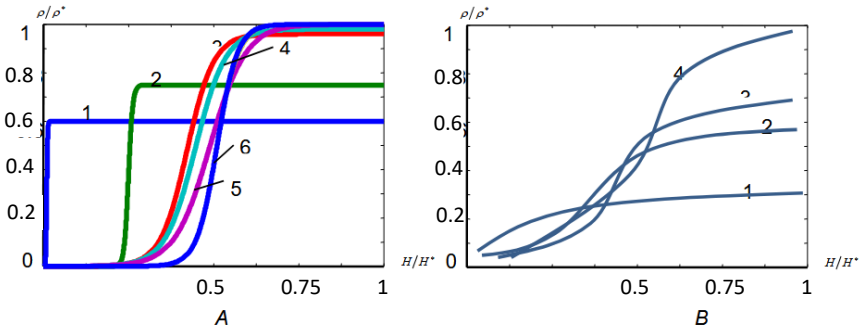
В соответствии с известными физическими предпосылками и теоретическим описанием процесса осаждения мелких частиц в сплошной вязкой среде скорость осаждения частицы зависит от скорости несущего потока, вязкости потока, размера частицы и ее массы, а также концентрации дисперсной фазы. В инженерных методиках расчета эти управляющие параметры обычно связываются через числа Рейнольдса. Современный обзор этих соотношений приводится в работе [42]. Шаги случайного дрейфа выбираются в соответствие с порядком смещений, обусловленных скоростью несущего потока на каждом временном интервале численной схемы.

Как уже отмечалось общей апробированной методики расчета седиментации в проточной системе в литературе не удается обнаружить, что подчеркивается в целом ряде источников. Это объясняется, в частности, тем, что насущная потребность таковой методики в инженерной практике возникла и была осознана недавно с развитием современных фармацевтических и нано технологий.

В предыдущей работе авторов [43], посвященной моделированию седиментации в концентрированных полидисперсных системах, авторы проводили сравнение с известными экспериментальными данными.

Мы вновь приводим в данной статье рисунок 5, взятый из указанной работы [43]. Это сравнение позволяет сделать вывод об удовлетворительном совпадении результатов моделирования с известными

экспериментальными данными, т.е. можно говорить о правильной интерпретации физических закономерностей селективной седиментации из полидисперсных потоков.



А – по модели данной статьи, в развитие работы [43], безразмерное время протекания через аппарат: 1-τ=5, 2-τ=10, 3-τ=15, 4-τ=20, 4-τ=25, 5-τ=30, 6-30; В – экспериментальные данные для водной суспензии частиц вольфрамита среднего диаметра [44]

Рис. 5. Типичные графики изменения плотности взвеси во времени с высотой

Результаты проведенного численного эксперимента качественно хорошо согласуется с многочисленными экспериментальными данными, ранее не получавшими адекватного теоретического обоснования [5,23-25]. Важно отметить также, что представленная в статье модель и разработанная на ее основе компьютерная программа описывают процессы седиментации как в проточных природных системах [24], так и в технологических аппаратах в широком диапазоне порядков частиц, начиная с нанодиапазона [5].

Заключение. Научная новизна работы заключается в том, что предлагается новая концепция, относительно которой в нашей работе дается оценка качественного совпадения с физическими закономерностями процесса осаждения, а также выделяются контрольные параметры. Это открывает возможности в дальнейшем использовать данный подход для разработки методик оптимизации режимов селективной седиментации полидисперсных суспензий в проточных аппаратах.

Представленная модель, основанная на новой концепции граничных кривых осаждения, позволяет рассчитать все важные для практики динамические характеристики осаждения полидисперсных суспензий для селективного осаждения в проточных системах. Анализ полученных зависимостей и тип графиков хорошо согласуются с известными изученными закономерностями процесса седиментации. Аналогичные ускоренные расчеты с использованием этой модели могут быть выполнены с другими исходными данными. Разработанный программный комплекс для численной модели подтвердил высокую эффективность при реализации новой методики расчета. Для надежного практического применения эта модель требует идентификации управляющих параметров для конкретных физико-химических систем. Только после этого можно будет рекомендовать надежный пошаговый алгоритм использования модели на практике.

Список литературы

1. Mitchell P.J., Spence M.A., Aldridge J., Kotilainen A.T., Diesing M. Sedimentation rates in the Baltic Sea: A machine learning approach // Continental Shelf Research. – 2021. – Vol. 214. – Art. 104325.
2. Berzi D., Fraccarollo L. Intense sediment transport: Collisional to turbulent suspension // Physics of Fluids. – 2016. – Vol. 28, No. 2.
3. Aimable A., Jongen N., Testino A., Donnet M., Lemaitre J., Hofmann H., Bowen P. Precipitation of nanosized and nanostructured powders: Process intensification and scale-out using a segmented flow tubular reactor (SFTR) // Chemical Engineering & Technology. – 2011. – Vol. 34, No. 3. – P. 344-352.
4. García M.H. (Ed.). Sedimentation Engineering: Processes, Measurements, Modeling, and Practice. – Reston, Virginia: ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, No. 110, 2007.
5. Besenhard M.O., Pal S., Gkogkos G., Gavriilidis A. Non-fouling flow reactors for nanomaterial synthesis // Reaction Chemistry & Engineering. – 2023. – Vol. 8, No. 5. – P. 955-977.
6. Schleiss A.J., Franca M.J., Juez C., De Cesare G. Reservoir sedimentation // Journal of Hydraulic Research. – 2016. – Vol. 54, No. 6. – P. 595-614.
7. Hamidifar H., Nones M., Rowinski P.M. Flood modeling and fluvial dynamics: A scoping review on the role of sediment transport // Earth-Science Reviews. – 2024. – Vol. 253. – Art. 104775.
8. Bürger R., Concha F., Tiller F.M. Applications of the phenomenological theory to several published experimental cases of sedimentation processes // Chemical Engineering Journal. – 2000. – Vol. 80. – P. 105-117.
9. Bürger R., Karlsen K.H., Towers J.D. Mathematical model and numerical simulation of the dynamics of flocculated suspensions in clarifier-thickeners // Chemical Engineering Journal. – 2005. – Vol. 111. – P. 119-134.
10. Maki R., Tabe Y., Yamamoto T., Takemura H., Sawada T., Esaki T., Ohsaka A. Accuracy study of a novel alternate method measuring erythrocyte sedimentation rate for prototype hematology analyzer CellTac α+ // International Journal of Laboratory Hematology. – 2021. – Vol. 43, No. 4. – P. 588-596.
11. Lippert M.C., Woods A.W. Experiments on the sedimentation front in steady particle-driven gravity currents // Journal of Fluid Mechanics. – 2020. – Vol. 889. – Art. A20.
12. Massah M., Khamehchi E., Mousavi-Dehghani S.A., Dabir B., Tahan H.N. A new theory for modeling transport and deposition of solid particles in oil and gas wells and pipelines // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2020. – Vol. 152. – Art. 119568.
13. Kondrat'ev A.S., Naumova E.A. Calculation of the velocity of obstructed settling of monodisperse solid particles in a Newtonian liquid // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2004. – Vol. 38, No. 6. – P. 586-591.
14. Brener A., Tazhibayeva B., Golubev V., Dairabay D. Diffusion model of polydisperse sedimentation // Chemical Engineering Transactions. – 2023. – Vol. 103. – P. 733-738.
15. Kondrat'ev A.S., Naumova E.A. Calculation of the hindered settling of a bimodal mixture of solid particles in a Newtonian liquid // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2007. – Vol. 41, No. 2. – P. 228-232.
16. Yang A.J., Olsthoorn J., Timmermans M.L. Sedimentation in particle-laden flows with and without velocity shear // Physics of Fluids. – 2023. – Vol. 35, No. 8.
17. Pavlenko I., Ochowiak M., Agarwal P., Olszewski R., Michalek B., Krupińska A. Improvement of mathematical model for sedimentation process // Energies. – 2021. – Vol. 14, No. 15. – Art. 4561.
18. Wallwork J.T., Pu J.H., Kundu S., Hanmaiahgari P., Pandey M., Satyanaga A., Khan M.A., Wood A. Review of suspended sediment transport mathematical modelling // Environmental Earth Sciences. – 2022. – Vol. 81. – Art. 10123.

19. Nocoń W. Quantitative monitoring of batch sedimentation based on fractional density changes // Powder Technology. – 2016. – Vol. 292. – P. 1-6.
20. Taye M.A. Sedimentation rate of erythrocyte from physics perspective // The European Physical Journal E. – 2020. – Vol. 43, No. 3. – P. 19-25.
21. Guazzelli É., Hinch J. Fluctuations and instability in sedimentation // Annual Review of Fluid Mechanics. – 2011. – Vol. 43. – P. 97-116.
22. Lee K., Kim T., Rajniak P., Matsoukas T. Compositional distributions in multicomponent aggregation // Chemical Engineering Science. – 2008. – Vol. 63. – P. 1293-1303.
23. Jan R., Huda M.B., Rather N.A., Lone M.A., Eslamian S. Sedimentation, erosion, and resilience // Handbook of Climate Change Impacts on River Basin Management. – Boca Raton: CRC Press, 2024. – P. 285-299.
24. Li J., Wang G., Song C., Sun S., Ma J., Wang Y., Guo L., Li D. Recent intensified erosion and massive sediment deposition in Tibetan Plateau rivers // Nature Communications. – 2024. – Vol. 15, No. 1. – Art. 722.
25. Liang H.K., Cui Y.W., Yan J.L., Yan H.J., Li Z.Y., Cui Y.B. The role of fungi in the formation and instability of halophilic aerobic granular sludge in a continuous-flow reactor // Journal of Water Process Engineering. – 2024. – Vol. 59. – Art. 105038.
26. Wang H., Tai Y., Huang L., Yang C., Jing H. Analyzing water and sediment flow patterns in circular forebays of sediment-laden rivers // Sustainability. – 2023. – Vol. 15, No. 24. – Art. 16941.
27. Wang K., Yang H., Chang Y., Huang W., Xia J. Phosphorus release and distribution in sediment resuspension systems under disturbing conditions // Chemosphere. – 2024. – Vol. 342. – Art. 142386.
28. Wang P., Ye N., Han Y., He X. Experimental study on the sedimentation performance of an arc-plate linear sedimentation tank // Water. – 2024. – Vol. 16, No. 8. – Art. 1075.
29. Xoshimov S., Atakulov D., Yalgashev O., Komilov S., Boykulov J. Evaluation of sedimentation of water reservoirs with modern technologies // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 365. – Art. 03033.
30. Paoluzzi M., Leoni M., Marchetti M.C. Fractal aggregation of active particles // Physical Review E. – 2018. – Vol. 98, No. 5. – P. 1-8.
31. Ferreira L.F., Picco A.S., Galdino F.E., Albuquerque L.J.C., Berret J.F., Cardoso M.B. Nanoparticle–protein interaction: Demystifying the correlation between protein corona and aggregation phenomena // ACS Applied Materials & Interfaces. – 2022. – Vol. 14, No. 25. – P. 28559-28569.
32. Ganesh A.N., Donders E.N., Shoichet B.K., Shoichet M.S. Colloidal aggregation: From screening nuisance to formulation nuance // Nano Today. – 2018. – Vol. 19. – P. 188-200.
33. Green J.E.F., Whiteley J.P., Oliver J.M., Byrne H.M., Waters S.L. Pattern formation in multiphase models of chemotactic cell aggregation // Mathematical Medicine and Biology. – 2018. – Vol. 35, No. 3. – P. 319-346.
34. Pokhrel A., Islam M.S., Mitra S. Aggregation dynamics of nanoplastics: Insights through real world waste // Environmental Science: Processes & Impacts. – 2026. – P. 1-15.
35. Yang X., An C., Feng Q., Boufadel M., Ji W. Aggregation of microplastics and clay particles in the nearshore environment: Characteristics, influencing factors, and implications // Water Research. – 2022. – Vol. 224. – Art. 119041.
36. Sun H., Jiao R., Wang D. The difference of aggregation mechanism between microplastics and nanoplastics: Role of Brownian motion and structural layer force // Environmental Pollution. – 2021. – Vol. 268. – Art. 115942.
37. Karpov S.V., Gerasimov V.S., Isaev I.L., Obushchenko A.V. Simulation of the growth of nanoparticle aggregates reproducing their natural structure in disperse systems // Colloid Journal. – 2006. – Vol. 68, No. 4. – P. 441-450.
38. Gomez-Flores A., Bradford S.A., Hong G., Kim H. Statistical analysis, machine learning modeling, and text analytics of aggregation attachment efficiency: Mono

and binary particle systems // Journal of Hazardous Materials. – 2023. – Vol. 454. – Art. 131482.
39. Merkus H.G. Sedimentation techniques // Particle Size Measurements: Fundamentals, Practice, Quality. – Dordrecht: Springer Netherlands, 2009. – P. 319-348.
40. Gomboš M., Tall A., Trpčevská J., Kandra B., Pavelkova D., Balejčíková L. Sedimentation rate of soil microparticles // Arabian Journal of Geosciences. – 2018. – Vol. 11, No. 20. – P. 635-645.
41. Tazhibayeva B., Brener A., Musabekova L., Golubev V., Kobeyeva Z., Yunussova A. Model of boundary deposition curves for polydisperse suspension sedimentation in flow-through systems // Chemical Engineering Transactions. – 2025. – Vol. 116. – P. 709-714.
42. Gonzalez Rodriguez L., McCallum A., Kent D., Rathnayaka C., Fairweather H. A review of sedimentation rates in freshwater reservoirs: Recent changes and causative factors // Aquatic Sciences. – 2023. – Vol. 85, No. 2. – Art. 60.
43. Brener A., Tazhibayeva B., Golubev V., Dairabay D. Diffusion Model of Polydisperse Sedimentation // Chemical Engineering Transactions. – 2023. – Vol. 103. – P. 733-738.
44. Burt R.O. Gravity Concentration Methods // Mineral Processing Design / Eds. B. Yarar, Z.M. Dogan. – Berlin: Springer, 1987. – P. 106-137.

Материал поступил в редакцию 22.10.25, принят 30.04.26.

Л.М. Мусабекова[1,3], Б.Т. Тажибаева[2], Б.О. Торланова[1], Г.С. Оспанова[1]

[1]Оңтүстік Қазақстан медициналық академиясы, Шымкент, Қазақстан
[2]Ж.А. Ташенев атындағы университет, Шымкент, Қазақстан
[3]М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

АҒЫНДЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ ПОЛИДИСПЕРСТІ СУПЕНЗИЯЛАРДЫ ТҰНДЫРУҒА АРНАЛҒАН КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛІ

Аңдатпа. Полидисперсті суспензияларды тұндырудың компьютерлік моделі жасалды. Модель ағынды жүйелерде полидисперсті суспензияның тұндыру процесін сипаттайды. Ағынды аппараттың шығысындағы дисперсті фазаның таралуын есептеудің жаңа әдісі ұсынылған. Әдіс дисперсті қоспаның әртүрлі фракциялары үшін шекаралық тұндыру қисықтарын құруға негізделген. Жаңа модель негізінде табиғи процестерде және өнеркәсіптік ағынды аппараттарда полидисперсті суспензиялардың шөгу кинетикасын есептеу үшін маңызды болып табылатын тұндыру фронттарының эволюциясын есептеуге арналған компьютерлік бағдарлама әзірленді. Шекаралық тұндыру қисықтарын есептеудің жаңа әдісі сонымен қатар реактор биіктігі бойынша да, ағыс аппаратының бойлық координатасы бойынша да ағын аймағының шығысындағы суспензияның фракциялық құрамының, сондай-ақ шөгу фронттары мен тұнба бетінің динамикасының өзгеруін есептеудің қарапайым және тиімді әдісін ұсынады. Бұл жұмыста, сонымен қатар, жаңа есептеу әдісін енгізуге арналған тиімді бағдарламалық қамтамасыз ету бірінші рет әзірленіп, сынақтан өткені көрсетілген.

Тірек сөздер: полидисперсті суспензияның тұндыру процесі, тұндыру фронтының эволюциясы, дисперсті қоспа фракциялары, компьютерлік тұндыру моделі.

L.M. Musabekova[1,3], B.T. Tazhibayeva[2], B.O. Torlanova[1], G.S. Ospanova[1]

[1]South Kazakhstan Medical Academy, Shymkent, Kazakhstan
[2]Zh.A. Tashenev University, Shymkent, Kazakhstan
[1]M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

COMPUTER MODEL FOR SEDIMENTATION OF POLYDISPERSED SUSPENSIONS IN FLOW SYSTEMS

Abstract. A computer model of the deposition of polydisperse suspensions has been developed. The model describes the process of deposition of a polydisperse suspension in flow systems. A new method for calculating the distribution of the dispersed phase at the outlet of the flow apparatus has been presented. The technique is based on the calculation of boundary deposition curves for various fractions of a dispersed mixture. Based on the new model, a computer program has been developed to calculate the evolution of deposition fronts, which is important for calculating the kinetics of deposition of polydisperse suspensions in natural processes and industrial flow devices. The new method for calculating the boundary deposition curves also allows us to propose a simple and effective method for calculating changes in the fractional composition of the slurry at the outlet of the flow area, as well as the dynamics of the deposition fronts and the sediment surface, both along the height of the reactor and along the longitudinal coordinate of the flow apparatus. In this paper, effective software for the implementation of a new calculation methodology has also been developed and tested for the first time.

Keywords: the deposition process of a polydisperse suspension, the evolution of deposition fronts, fractions of a dispersed mixture, a computer model of deposition.

ҒТАМР 61.51.17

Ғ.А. Тұрлыбек[1] – *негізгі автор,*
К.К. Сырманова[2], Н.М. Дәуренбек[3]

[1]Техн. ғылым. д-ры, профессор, [2]Докторант, [3]Техн. ғылым. канд., доцент

ORCID *[1]https://orcid.org/0009-0001-3025-9203 [2]https://orcid.org/0000-0002-1468-6440 [3]https://orcid.org/0000-0002-4238-3359*

[1,2,3]М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан Университеті,
Шымкент, Қазақстан

@ *[1]aqtorgyn_gaziza260521@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/KQVA2742

ПОЛИМЕР-БИТУМДЫ БАЙЛАНЫСТЫРҒЫШТАРДАҒЫ ПЛАСТИФИКАТОРДЫҢ РӨЛІ

Аңдатпа. Мақалада полимер-битум байланыстырғыштар (ПББ) құрамындағы пластификациялаушы қоспалардың материалдың реологиялық, құрылымдық және пайдалану сипаттамаларының қалыптасуына әсері қарастырылады. Пластификаторлардың химиялық табиғаты мен концентрациясының битум-полимер матрицасының үйлесімділігіне, температуралық сезімталдығына және фазалық тұрақтылығына ықпалы талданды. Зерттеу барысында өнеркәсіптік пластификатор Унипласт-3, вермикулит, табиғи текті модификатор – госсипол шайыры негізінде үш түрлі ПББ құрамы дайындалды. Құрылымдық өзгерістер ИК-Фурье спектроскопия әдісімен зерттеліп, консистенциялық қасиеттері 25°С-та пенетрация көрсеткіші арқылы бағаланды. Нәтижелер Унипласт-3 енгізілген жүйеде айқын пластификациялаушы әсер байқалатынын, ал вермикулит пен госсипол шайыры қосылған құрамдарда құрылымдық өзара әрекеттесулердің өзгеретінін көрсетті. Алынған деректер пластификатор табиғатының ПББ кеңістіктік құрылымын қалыптастырудағы белсенді рөлін дәлелдейді және Қазақстанның күрт континенттік климат жағдайына бейімделген тиімді құрамдарды негіздеуге мүмкіндік береді.

Тірек сөздер: полимер-битум байланыстырғыштары, пластификаторлар, аралас модификация, үйлесімділік, жол беттері, климатқа төзімділік, деформацияға төзімділік, беріктік, Унипласт-3.

Сырманова, К.К. Полимер-битумды байланыстырғыштардағы пластификатордың рөлі [Мәтін] / К.К. Сырманова, Ғ.А. Тұрлыбек, Н.М. Дәуренбек // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №2(92). – Б.399-417. https://doi.org/10.55956/KQVA2742

Кіріспе. Полимер-битум байланыстырғыштары (ПББ) қазіргі заманғы жол құрылысында деформацияға төзімділікті, жарықшақтарға төзімділікті және жол беттерінің беріктігін арттыру қабілетіне байланысты маңызды орын алады. Алайда, битумды полимер қоспаларымен модификациялаудың тиімділігі көбінесе қосалқы компоненттердің құрамымен анықталады, олардың арасында пластификаторлар ерекше маңызды рөл атқарады.

Пластификациялаушы қоспалар ПББ реологиялық және құрылымдық қасиеттерін реттеу функциясын орындайды, битум мен полимер фазаларының үйлесімділігін арттыруға, процестің тұтқырлығын төмендетуге

және материалдың фазалық күйін тұрақтандыруға көмектеседі. Сонымен қатар, пластификаторлардың химиялық табиғаты мен мөлшері ПББ-лардың температураға сезімталдығына, қартаюға төзімділігіне және пайдалану сипаттамаларына айтарлықтай әсер етеді.

Қазақстан мен ТМД елдерінің күрт континенталды климатында полимер-битум байланыстырғыштарына қойылатын талаптар айтарлықтай жоғары, бұл пластификаторлардың рөлін жүйелі талдауды қажет етеді. Пластификаторлар бойынша көптеген зерттеулерге қарамастан, оларды таңдауға үйлесімділікті, климаттық факторларды және қоршаған орта талаптарын ескеретін бірыңғай, жүйелі тәсіл жоқ. Осыған байланысты, ПББ қасиеттерін қалыптастырудағы пластификаторлардың рөлі туралы қазіргі заманғы тұжырымдамаларды шолу өзекті болып табылады. Осы мәселенің өзектілігіне қарамастан, пластификаторлардың әртүрлі химиялық табиғаты жағдайында олардың битум-полимер жүйесіндегі құрылымдық өзгерістерге әсер ету механизмі жеткілікті деңгейде ашылмаған. Әсіресе, дәстүрлі өнеркәсіптік пластификаторлар мен табиғи текті модификаторлардың салыстырмалы әсерін кешенді талдау жеткіліксіз.

Осыған байланысты, зерттеудің ғылыми мәселесі пластификациялаушы және модификациялаушы қоспалардың полимер-битум байланыстырғыштарының құрылымдық және реологиялық қасиеттерін қалыптастыру механизмін анықтау болып табылады.

Зерттеу мақсаты – әртүрлі табиғатты пластификаторлар негізінде алынған полимер-битум байланыстырғыштарының құрылымдық ерекшеліктерін инфрақызыл спектроскопия әдісімен зерттеу және алынған деректерді пенетрация көрсеткіштерімен салыстыра отырып, олардың консистенцияға және құрылымдық тұрақтылыққа әсерін бағалау.

Жұмыста өнеркәсіптік пластификатор ретінде Унипласт-3, сондай-ақ табиғи текті модификатор – госсипол шайыры қолданылды. Құрылымдық өзгерістер ИК-Фурье спектроскопия әдісімен талданып, алынған нәтижелер физика-механикалық көрсеткіштермен өзара байланыста қарастырылды.

Осылайша, зерттеу пластификаторлардың тек реологиялық емес, сонымен қатар молекулааралық әрекеттесу деңгейінде ПББ құрылымына әсерін жүйелі түрде бағалауға бағытталған.

ПББ-тарда қолданылатын пластификаторлардың жіктелуі және түрлері. Пластификаторлар – полимерлік жүйелер мен полимер-битум байланыстырғыштарының реологиялық және пайдалану сипаттамаларын анықтайтын модификациялық қоспалар. Олар функционалдық мақсаты мен химиялық табиғаты бойынша, соның ішінде ішкі және сыртқы, физикалық және химиялық, эфир мен май, сондай-ақ біріншілік және екіншілік пластификаторлар бойынша жіктеледі [1].

Ішкі пластификаторлар полимер тізбегімен коваленттi байланысқан құрылымдық фрагменттер болып табылады және іс жүзінде макромолекуланың бөлігі болып табылады. Оларды енгізу молекулааралық өзара әрекеттесулерді әлсірету арқылы әйнектің температурасы мен кристалдылық дәрежесін төмендетеді [2]. Сыртқы пластификаторлар, керісінше, полимермен химиялық байланыс түзбейді және тек физикалық араластыру арқылы әсер етеді, сутегі байланыстары мен Ван-дер-Ваальс өзара әрекеттесуі арқылы пластификацияны жүзеге асырады [3].

Полимер матрицасымен үйлесімділік дәрежесі бойынша пластификаторлар біріншілік және екіншілік болып жіктеледі. Біріншілік еріткіш қабілеті жоғары және полимердің аморфты және кристалды

аймақтарына ене алады, ал екіншілік пластификаторлар тұтқырлық пен композиция құнын реттеу арқылы көмекші рөл атқарады [4].

Өнеркәсіпте эфирлер (фталаттар, адипаттар, себацинаттар, фосфаттар) және мұнай майлары (нафтенді, хош иісті, парафинді), сондай-ақ эпоксидті өсімдік майларына негізделген биопластификаторлар кеңінен таралды [5]. Белгілі бір концентрациядағы эфирлер аморфты полимерлер үшін еріткіш ретінде әрекет ете алатыны анықталды, ал майлар көп жағдайда қайталама пластификаторлар болып табылады [6]. Полимерлі-битумды байланыстырғыштарда қолданылатын пластификациялаушы және модификациялаушы компоненттердің негізгі топтары, сондай-ақ олардың реологиялық және пайдалану сипаттамаларына әсері 1-суретте жүйеленген және схемалық түрде ұсынылған.

Сурет 1. ПББ-да қолданылатын пластификаторлардың/модификаторлардың түрлері

Пластификаторлардың негізгі кластары, олардың типтік құрамы және битумды және полимер-битумды байланыстырғышар технологиясында қолданылатын қосылыстардың мысалдары 1-кестеде жинақталған. Докторлық диссертация тақырыбына сәйкес пластификатордың құрамын реттеу арқылы полимерлі- битумды байланыстырғыш алу мақсатында маған 2 немесе 3 модификациялаушы пластификаторлар қолдануға тура келеді. Соған сйкесінше аталған жұмыста Унипласт-3, госсипол шайыры және де вермикулит қолданылды. Ұсынылған жүйелеу пластификациялаушы қоспалардың химиялық табиғатын олардың практикалық қолдану бағыттарымен және күтілетін функционалдық әсерлерімен көрнекі түрде салыстыруға мүмкіндік береді. Бұл полимерлік фазаның битум матрицасында біркелкі таралуын ғана емес, сонымен қатар қоспалардың төмендетілген температурада тұрақты өңделуін қамтамасыз етуді талап ететін полимер-битумды жүйелер үшін іргелі маңызға ие. Сонымен қатар, пластификаторлардың молекулалық құрылымындағы, полярлығындағы және еріткіштік қабілетіндегі айырмашылықтар олардың ПББ-тардың құрылымына және реологиялық мінез-құлқына әсер ету механизмдерінің әртүрлі болуын

тудырады. Осыған байланысты, пластификациялаушы қоспаларды негізді түрде таңдау үшін олардың битум-полимер жүйелеріндегі әсер ету механизмдерін сипаттайтын қолданыстағы теориялық түсініктерді қарастыру қажет.

Кесте 1

Пластификаторлардың негізгі кластары, типтік құрамы және қолданылуы

Пластификатор класы	Типтік құрамы (химиялық табиғаты)	Қолданылуы және артықшылықтары
Мұнай және қалдық майлар	Ауыр мұнай фракцияларының қоспалары, қайта өңдеу қалдықтары, кей жағдайда беттік-белсенді заттармен модификацияланған	Битум құрамындағы полимердің ерігіштігін жақсарту және жүйенің тұтқырлығын төмендету үшін қолданылады; экономикалық тұрғыдан тиімді, алайда тозуға төзімділікке кері әсер етуі мүмкін
Фталаттар (орто-фталаттар) (DOP, DEHP және т.б.)	Ди-(2-этилгексил) фталат және ұқсас қосылыстар	Пластификациялау тиімділігі жоғары және арзан; алайда экологиялық және санитарлық шектеулерге байланысты бірқатар елдерде қолданылуы қысқартылған немесе баламалармен алмастырылуда
Фталаттар емес пластификаторлар (DOTP/DEHT, DINP, DINCH, TOTM және т.б.)	Терефталаттық, адипаттық және тримеллиттік эфирлер	Қазіргі экологиялық талаптарға анағұрлым сәйкес келеді; фталаттарға балама ретінде кеңінен қолданылады
Эпоксидті өсімдік майлары (биопластификаторлар)	Эпоксидтелген соя майы (ESBO), эпоксидті өсімдік эфирлері	Экологиялық таза, биологиялық негізделген; пластификатор және тұрақтандырғыш ретінде әрекет етеді, «жасыл» полимер-битумды байланыстырғыштар құрамында қолдануға жарамды
Полимерлі және жоғары молекулалы пластификаторлар	Төмен молекулалық салмақты полимерлер немесе олигомерлер	Миграциясының төмендігімен және сілтісіздендіруге төзімділігімен ерекшеленеді; жоғары тұрақтылық талап етілетін полимер-битумды жүйелер үшін тиімді
Полимер қалдықтары мен пластификаторлар негізіндегі композиттік жүйелер	Қайта өңделген немесе ұсақталған пластик және пластификациялаушы қоспалар	Экономикалық тұрғыдан тиімді; қаттылық пен жол жабындысының деформацияға төзімділігін арттырады, алайда үйлесімділік пен төмен температуралық қасиеттер бойынша шектеулер болуы мүмкін

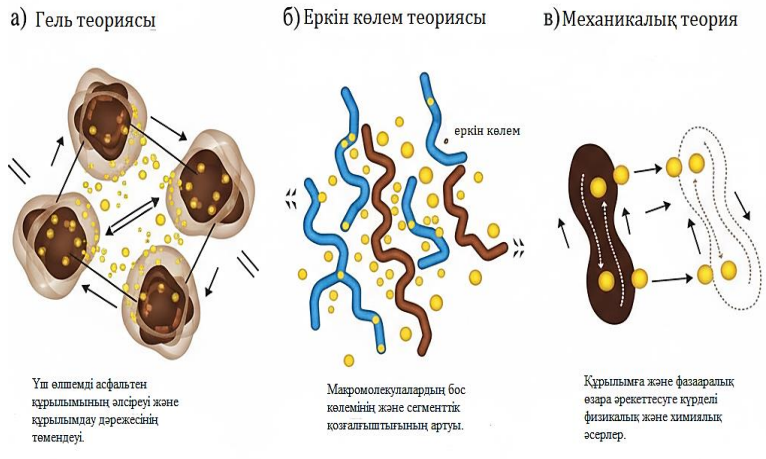
Пластификаторлардың әсер ету механизмінің теориялық тұжырымдамалары. Пластификаторлар битум байланыстырғыштарын модификациялауда, тұтқырлықты азайтуда, серпімділікті арттыруда және қартаюға төзімділікті жақсартуда маңызды рөл атқарады. Олардың тиімділігі

бірнеше негізгі теориялармен түсіндіріледі. Майлау теориясына сәйкес, пластификатор молекулалары битум мен полимер макромолекулаларының арасына орналастырылады, бұл ішкі үйкелісті азайтады және құрылымдық фрагменттердің қозғалғыштығын арттырады [7].

Гель теориясында пластификатор асфальтендерден, шайырлардан және майлардан тұратын битум гелінің үш өлшемді құрылымын әлсірететін агент ретінде қарастырылады. Пластификаторды енгізу ығысу модульдерінің төмендеуіне және деформация процестерінің жеңілдетілуіне әкеліп соқтыратын құрылымдық дәрежесін және асфальт торының тығыздығын төмендетеді [8]. Алайда, бұл теория пластификатордың артық болуы құрылымның шамадан тыс "сұйылтылуына" әкелуі мүмкін, бұл ПББ өнімділігін төмендетеді.

Еркін көлем теориясына сәйкес, пластификаторлар битум мен полимер молекулалары арасындағы микрокеңістіктердің үлесін арттырады, бұл сегменттік қозғалғыштығын арттырады және жүйенің шыны өтпелі температурасын төмендетеді [9]. Полимер-битум байланыстырғыштары үшін бұл төмен температурада серпімділіктің жақсаруын және жарықшақтарға төзімділіктің артуын білдіреді.

Механикалық теория пластификаторлардың әрекетін анағұрлым жан-жақты қарастырады – молекулалардың физикалық орналасуын, молекулааралық байланыстың әлсіреуін, битум компоненттерінің таңдамалы ерітілуін және деформацияға энергетикалық кедергілерді азайтуды қамтитын әсерлер жиынтығы ретінде [10]. Бұл теория модификацияланған битум жүйелерінің табиғатын толық көрсетеді және оны қазіргі заманғы ПББ зерттеушілері битум мен полимерлердің үйлесімділігін түсіндіру, сондай-ақ пластификатор қоспаларының құрамын оңтайландыру үшін пайдаланады. Полимер-битум байланыстырғыштарындағы пластификаторлардың әсер ету механизмін сипаттаудың негізгі теориялық тәсілдерінің салыстырмалы көрінісі 2-суретте көрсетілген.



Сурет 2. Пластификаторлардың полимер-битумды байланыстырғыштарға әсер етуінің негізгі теорияларын схемалық көрінісі: а – гельдік теория; ә – бос көлем теориясы; б – механистикалық модель

Пластификаторларды қолданудың экологиялық және нарықтық аспектілері. Қазіргі әдебиеттерде экологиялық және токсикологиялық

аспектілерге ерекше көңіл бөлінеді. Фталатты пластификаторлары (DEHP, DINP, DIDP) эндокриндік бұзылғыштар ретінде жіктеледі және полимер матрицаларынан миграцияға бейім [11]. Бұл адипаттарға, цитраттарға, эпоксидті майларға және полимерлі пластификаторларға негізделген баламалардың дамуын ынталандырады [12].

Пластификаторлардың әлемдік нарығы 2023 жылы 22,5 миллиард АҚШ долларын құрады және 2034 жылға қарай 41,2 миллиард АҚШ долларына жетеді деп болжануда, жылдық өсім шамамен 5% құрайды [13]. Сонымен қатар, полимерлік жүйелерге арналған пластификаторлар нарығы талдаушылардың бағалауы бойынша 15,3 миллиард АҚШ долларынан (2023) 22,8 миллиард АҚШ долларына (2032) дейін өседі, жылдық өсім шамамен 4,5% құрайды [14], ал полимерлік қоспалардың жалпы нарығы 18,4 миллиард АҚШ долларынан (2024) 23,5 миллиард АҚШ долларына (2030) дейін өседі деп күтілуде, жылдық өсім шамамен 4,3% құрайды [15]. Бұл динамика құрылыс қызметінің өсуін, жол беттерінде полимермен модификацияланған битумды қолданудың кеңеюін және аязға төзімділігі мен беріктігі жоғары байланыстырғыштарға көшуді көрсетеді [16].

ТМД елдерінде және Қазақстанда пластификатор өндірісі шектеулі болып қала береді, ал көлем статистикасының болмауы импорттық жеткізілімдерге тәуелділікті растайды және РВВ үшін жергілікті және экологиялық таза пластификациялау жүйелерін әзірлеудің маңыздылығын көрсетеді. ТМД және Қазақстан нарықтарында бар пластификатор өндірушілері мен брендтерінің салыстырмалы шолуы 2-кестеде келтірілген.

Жаһандық нарықтың өсуі, қатаң экологиялық талаптар және ПББ-ның төмен температуралық қасиеттерін қалыптастырудағы пластификаторлардың маңызды рөлі шұғыл континенттік климат жағдайларына бейімделген тиімді және қауіпсіз рецептураларды әзірлеудің өзектілігін анықтайды.

Кесте 2

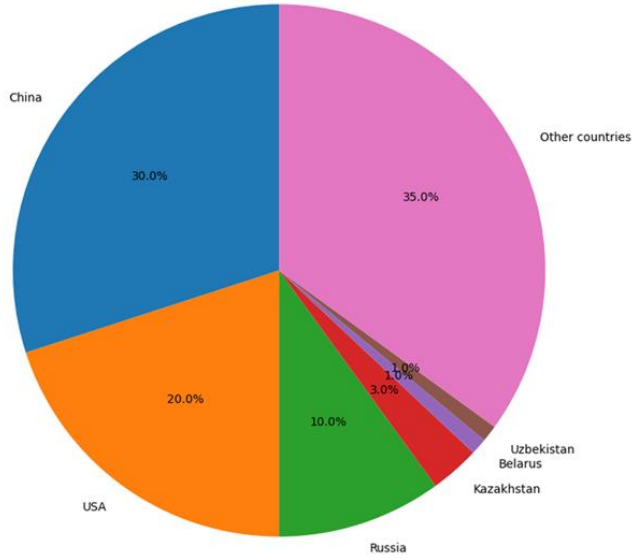
Пластификатор өндірушілері мен маркалары

№	Ел	Компания	Өнім	Түрі
1	Қазақстан	АМДОР/Amdor	АМДОР-ПЛ (А және В маркалы)	ПББ арналған пластификатор (мұнайлы/қалдық)
2	Ресей	НПФ Селена	Унипласт-2	өсімдік шикізаты+ минералды майлар (пластификатор)
3	Ресей	KRZ/КРЗ	Полимер-битумды байланыстырғыш	ПББ өндірушісі (SBS модификаторлары және басқалары)
4	Беларусь	MDD-BEL	High polymer softener	битум мен резеңкеге арналған пластификатор (полимер/композит)
5	Қазақстан	Optimus-kz	Унипласт (сауда позициясы)	пластификатор, жол қоспалары
6	Қазақстан	CBS-Shymkent	AZOL 1011	минералды майларсыз пластификатор
7	Қазақстан	KCHZ	ПББ арналған пластификатор (маркалары)	пластификатор (құрамында минералды майлар жоқ)

Қазақстанда, Ресей Федерациясында және Беларусь Республикасында ПББ-ларды практикалық өндіруде мұнай фракцияларына,

модификацияланған майларға және мұнай-химия және резеңке өнеркәсібіндегі кәсіпорындар шығаратын полимер қоспаларына негізделген құрамдар қолданылады. Көптеген коммерциялық өнімдер үшін өнеркәсіптік құпиялылыққа байланысты нақты құрамы туралы ақпарат жоқ. Бұл әртүрлі пластификациялау жүйелерінің тиімділігін тәуелсіз ғылыми бағалауды және салыстыруды айтарлықтай қиындатады [2].

Әлемдік ПББ өндірісінің өсуі жол құрылысына деген көзқарастардың өзгеруін көрсетеді, ол жол жабындарының тозуға төзімділігін арттыруға және пайдалану шығындарын азайтуға бағытталған. Аналитикалық және қолданбалы зерттеулерге сәйкес, ПББ табиғи өндіріс көлемі жылына ондаған миллион тоннаға бағаланады, бұл ретте әлемдік көлемнің жартысынан астамы дамыған жол инфрақұрылымы бар елдерге келеді [17]. Әлемнің жетекші елдері мен аймақтары арасында ПББ өндірісінің бөлінуі бағалаулар бойынша 3-суретте келтірілген. Нарықтың тұрақты өсуі құрылыс көлемінің ұлғаюымен ғана емес, сонымен қатар дәстүрлі битумды жоғары тиімді модификацияланған жүйелермен ауыстырумен де анықталады [18].



Сурет 3. Елдер бойынша ПББ өндірісінің бағалау үлесі

ТМД елдерінде (әсіресе Ресейде) пластификаторлар нарығы бар және тұрақты даму белгілерін көрсетеді, бірақ өндіріс пен тұтынудың нақты көлемі туралы жария деректер өте шектеулі болып қалады. Жақында жүргізілген салалық зерттеулерге сәйкес, Ресейде фталатсыз пластификаторлар нарығы 2024 жылы шамамен 113,6 миллион USD-ге бағаланды, 2032 жылға қарай 230,1 миллион USD-ге дейін өсу болжамы орташа жылдық қарқынмен ~ 12 %[19]. Дегенмен, бұл талдау өндірілген шикізаттың немесе қоспалардың нақты тоннасын емес, тек нарықтың қаржылық көлемін көрсетеді және нақты қолданбалар (ПББ, пластмасса, резеңке және т.б.) бойынша тұтыну құрылымын ашпайды. Осылайша, нарық дамып келе жатқанымен, қол жетімді статистика пластификаторлардың нақты өндірісін немесе олардың сегменттерге таралуын (битум мастикасы, пластмасса, резеңке және т.б.) сенімді бағалауға мүмкіндік бермейді.

Пластификаторлардың кеңінен қолданылуына қарамастан, бірқатар шешілмеген мәселелер әлі де бар. Негізгі мәселелердің бірі – жеңіл мұнай пластификаторларын қолданған кезде ПББ-лардың тотығу тозуына, яғни төзімділігінің төмендеуі, бұл қызмет көрсету кезінде қаттылықтың жоғарылауына және жарықшақтардың пайда болуына әкеледі [15,16]. Сондай-ақ, кейбір пластификаторлардың битум мен полимерлердің белгілі бір түрлерімен үйлесімсіздігі де елеулі қиындықтарды тудырады, бұл сақтау кезінде фазалық тұрақсыздыққа және полимер фазасының шөгіндісіне әкелуі мүмкін [2]. Бұл әсерлер әсіресе жұмыс температурасының диапазоны 80°C және одан жоғары болатын Қазақстан мен Орталық Азия елдеріне тән күрт континенталды климатта айқын байқалады.

Экологиялық тұрғыдан алғанда, мұнай пластификаторларын кеңінен қолдану токсикологиялық қауіпсіздік пен қоршаған ортаға әсерін қосымша бағалауды талап етеді [17]. Сондықтан, өсімдік майлары мен табиғи компоненттерге негізделген биопластификаторларға қызығушылық артып келеді, олар дәстүрлі ерітінділерге экологиялық таза балама ретінде қарастырылады. Дегенмен, бұл саладағы зерттеулердің көпшілігі зертханалық сынақтармен шектеледі және мұндай материалдардың қасиеттерінің ұзақ мерзімді тұрақтылығы туралы жеткілікті деректерді қамтымайды [20].

ПББ-тардың аралас модификациясы және зерттеулердің заманауи бағыттары. Модификацияланған битумдар, әсіресе оңтайландырылған шығындармен жақсартылған өнімділік сипаттамалары бар жол жабындарына деген сұраныстың артуын ескере отырып, қарқынды зерттеулер мен практикалық қызығушылықтың тақырыбы болып қала береді. Әдебиеттердегі зерттеудің назар аударарлық саласы - полифосфор қышқылы (ПФҚ) сияқты пластификаторлар мен қышқылдық модификаторларды қолдану. Төменде тақырып бойынша негізгі жұмыстар, олардың жетістіктері, сондай-ақ болашақ зерттеулер үшін бар олқылықтар мен бағыттар талданады.

Polyphosphoric acid and plasticizer modified asphalt жұмысында: Rheological properties and modification mechanism пластификаторлармен (диоктилфталат – DOP, және триоктил-тримеллиат – TOTM) және әртүрлі PPA мазмұнымен (0.5-2 мас.%). Авторлар зертханалық сынақтардың толық жиынтығын жүргізді: DSR, BBR, айналмалы вискозиметрдің тұтқырлығы, сақтау кезінде ыстыққа төзімділік, сондай-ақ FTIR талдауы және микроқұрылымдық зерттеу. Нәтижелер жоғары температуралық деформацияға төзімділіктің айтарлықтай жоғарылауын және термиялық тұрақтылықтың жақсарғанын көрсетті, PPA дозасының жоғарылауымен төмен температуралық икемділікке оң әсердің төмендеуі байқалды. Авторлар сонымен қатар PPA модификациясы пластификатормен қарапайым физикалық араласудан айырмашылығы, битум компоненттерімен химиялық реакцияға және оның микроқұрылымының өзгеруіне ықпал ететінін атап өтеді. Бұл біріктірілген модификацияның ықтимал инженерлік қолданылуын көрсетеді. [21]

Алайда, бұл маңызды жұмыстың да шектеулері бар. Барлық деректер қысқа мерзімді қартаю кезеңдері бар бақыланатын зертханалық жағдайларда алынды. Ол нақты климаттық және эксплуатациялық жағдайларда ұзақ мерзімді тотығу қартаюын зерттемейді және стирол бутадиен стиролы (SBS) немесе стирол бутадиенді резеңке (SBR) сияқты дәстүрлі полимерлермен үйлесімділікті қарастырмайды, бұл нәтижелердің тәжірибеде жиі

қолданылатын полимермен модификацияланған битумдарға берілуін айтарлықтай шектейді.

Соңғы зерттеулер біріктірілген модификацияның ауқымын кеңейтуді жалғастыруда. Осылайша, SBS/полифосфор қышқылының композиттік модификацияланған асфальтының өнімділігін зерттеуде PPA қосылған SBS модификациясының комбинациясы зерттелді. Авторлар физикалық-механикалық, реологиялық және микроқұрылымдық сипаттамаларды (FTIR және SEM қоса алғанда) бағалап, оңтайлы PPA мазмұны шамамен 0,75% құрайтынын анықтады - бұл ену (пенетрация) мен икемділіктің төмендеуіне, жұмсарту нүктесінің жоғарылауына, тұтқырлықтың жоғарылауына және жыртылу кедергісі мен термиялық тұрақтылықтың айтарлықтай жақсаруына әкеледі. Бұл PPA полимер битумдары үшін «толықтырушы» модификатор ретінде әрекет ете алатынын, өнімділік қасиеттерін сақтай отырып немесе жақсарта отырып, полимердің үлесін азайта алатынын көрсетеді. [22]

Дегенмен, мұндай біріктірілген жүйелерде де маңызды мәселелер қалады. Біріншіден, төмен температуралық қасиеттер мен суық жарылуға төзімділік төмендейді, әсіресе негізгі битум құрамында балауыз немесе жеңіл фракциялардың көп бөлігі болса. Екіншіден, температура циклдеріне, ылғалдылыққа, ультракүлгін сәулеленуге және жүктемелерге ұшырауды қоса алғанда, мұндай материалдардың көпжылдық қызмет ету кезеңіндегі қасиеттерін ұзақ мерзімді далалық зерттеулер іс жүзінде жоқ. Бұл олқылық жақында жарияланған «Жол төсеміндегі полифосфор қышқылының композитті модификацияланған асфальтты соңғы әзірлеуі» шолуында да атап өтілген, онда далалық деректердің және стандартталған қолдану нұсқауларының жеткіліксіздігі атап өтілген. [22, 25]

Polyphosphoric Acid modified Asphalt Research of Low-Temperature Performance of Polyphosphoric Modified Asphalt, PPA битумның фазалық құрылымына әсер ете алатынын, SBR қосқанда үйлесімділікті жақсарта алатынын, бетіндегі агрегаттардың өлшемдерін төмендететінін (sem бойынша), сондай-ақ химиялық құрамын (фосфат эфирлерінің түзілуі) өзгерте алатынын көрсетті, бұл төмен температуралық деформация қабілетін жақсартуға ықпал етеді. [23] Дегенмен, бұл жұмыс зертханалық жағдайлармен де шектеледі және оның нәтижелерін далалық жолдарға тікелей экстраполяциялау мүмкін емес.

«Полифосфор қышқылымен модификацияланған асфальт технологиясын зерттеудің жетістіктері мен болашағы» атты шолу мақаласында зертханалық зерттеулердің кең ауқымына қарамастан, PPA қолданудың бірыңғай стандарты жоқ екендігі; жалпыланған практикалық ұсыныстар жоқ және PPA-модификацияланған битумдардың ұзақ мерзімді өнімділігі туралы деректер өте аз екендігі атап өтілген. [24]

Сондай-ақ, экономикалық және экологиялық орындылықты бағалауда айтарлықтай олқылықтар бар: жол құрылысында технологияны енгізу үшін маңызды болып табылатын материалдық талдауды, экономикалық есептеулерді және өмірлік циклді бағалауды (LCA) біріктіретін зерттеулер жоқ дерлік.

Осылайша, әдебиеттерге шолу PPA + пластификаторды (және/немесе полимерді) қолдана отырып, битумды біріктірілген модификациялау перспективалы тәсіл екенін көрсетеді. Дегенмен, зертханалық аудиттерден практикалық қолдануға көшу үшін бірқатар іргелі мәселелерді шешу қажет: формулаларды аймақтық битумдарға бейімдеу, ұзақ мерзімді далалық

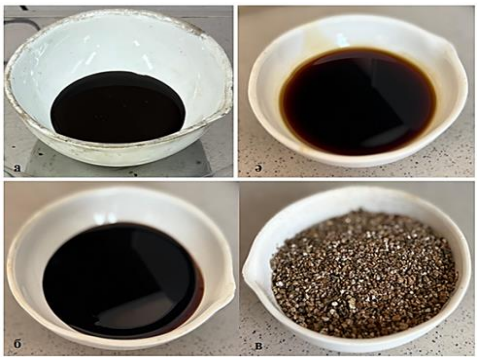
сынақтар жүргізу, беріктік пен тұрақтылықты бағалау және экономикалық және экологиялық тұрғыдан негізделген ұсыныстар беру.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Зерттеу үшін 70/100 мұнай БНД битумы – ірі тоннажды мұнай өңдеу өнімі пайдаланылды. БНД 70/100 битумын таңдау оның жол құрылысы тәжірибесінде кеңінен қолданылуымен және теңгерімді реологиялық сипаттамаларымен негізделген. Бұл көрсеткіштер бастапқы матрицаның шамадан тыс қаттылығына немесе аса жұмсақтығына жол бермей, енгізілетін модификаторлардың әсерін объективті түрде бағалауға мүмкіндік береді.

Пластификациялаушы қоспа ретінде Унипласт-3 өнеркәсіптік пластификаторы қолданылды. Аталған өнім битумды-полимерлік жүйелерде тұтқырлықты төмендету және компоненттердің үйлесімділігін арттыру мақсатында пайдаланылатын композициялық органикалық қоспа болып табылады. Унипласт-3 таңдалуы оның жол құрылысында практикалық қолданылуымен және битум матрицасының құрылымдық торын әлсірету арқылы жүйенің икемділігін арттыру қабілетімен негізделеді. Пластификатордың енгізілуі асфальтенді агрегаттардың арасындағы молекулааралық әрекеттесуді төмендетіп, жүйенің деформацияға төзімділігін және төмен температурадағы иілгіштігін жақсартуы мүмкін.

Табиғи модификатор ретінде госсипол шайыры қолданылды. Госсипол фенолдық құрылымды органикалық қосылыс болып табылады және құрамында гидроксил топтары бар. Оны енгізу битум компоненттерімен қосымша молекулааралық әрекеттесулердің түзілуіне ықпал етуі мүмкін, бұл жүйенің құрылымдық ерекшеліктеріне әсер етеді.

Минералдық толтырғыш ретінде қабатты құрылымы бар табиғи алюмосиликат – вермикулит қолданылды. Оның морфологиясы битум-полимер жүйесінде белгілі бір дәрежеде құрылымдық қаттылықты арттырып, фазалардың біркелкі таралуына әсер етуі мүмкін. Осы аталған материалдардың көрінісі 4-суретте көрсетілген.



Сурет 4. Бастапқы шикізаттар: а – 70/100 мұнай БНД битумы, ә – УНИПЛАСТ-3, б – госсипол шайыры, в – вермикулит.

Полимерлік модификатор ретінде полиэтилен қолданылды. Полиэтилен термопластикалық қасиеттерге ие және битуммен араласқанда дисперстік полимерлік фаза түзеді. Полиэтилен битум матрицасында полимерлік құрылым қалыптастырады, алайда оның біркелкі таралуы пластификатордың қатысуына тәуелді болуы мүмкін. Осыған байланысты пластификатор

полимер фазасының дисперсиясына және жүйенің жалпы құрылымдық тұрақтылығына жанама түрде әсер етеді.

Зертханалық тәсілмен алынған полимер-битумды байланыстырғыштардың үлгілерінің қасиеттерін зерттеу үшін оны біртекті күйге келтіргеннен кейін, бірден байланыстырғыш берілген ыдыстан зертханалық зерттеулерге үлгілер алынды.

Полимер-битумды байланыстырғыштардың қасиеттерін бағалау үшін инфрақызыл спектроскопия және пенетрацияны анықтау әдістері қолданылды. ИК-спектрлер функционалдық топтардың өзгерісін және компоненттердің молекулааралық әрекеттесуін талдау мақсатында тіркелді. Физика-механикалық сипаттамалар 25°C температурада пенетрация көрсеткішін анықтау арқылы бағаланды. Барлық нәтижелер салыстырмалы талдау негізінде өңделді.

Инфрақызыл Фурье-спектрлер Shimadzu IRPrestige-21 спектрометрінде Pike Technologies компаниясының бұзылған толық ішкі шағылысу (НПВО, ATR) приставкасын қолдану арқылы алынды. Полимер-битумды байланыстырғыштарға иненің ену тереңдігі «МЕСТ 11501-78 – Мұнай битумдары бойынша анықталды. ПНБ-02М пенетрометрінде иненің ену тереңдігін анықтау әдісі». [26]

Модификациялаушы компоненттердің пайыздық мөлшері битум массасына шаққанда есептелді. Зерттеу барысында үш түрлі полимер-битумды байланыстырғыш құрамы дайындалды. Олар 5-суретте (а) көрсетілген құрылғы арқылы алынды, (б) олардың сыртқы көрінісі.

ПББ-1: битум – 500 г, Унипласт-3 – 3%, полиэтилен – 3%. ПББ-2: битум – 500 г, Унипласт-3 – 3%, полиэтилен – 2%, вермикулит – 3%. ПББ-3: битум – 220 г, госсипол шайыры – 3,5%, полиэтилен – 2,3%.

а

ПББ-1 ПББ-2 ПББ-3

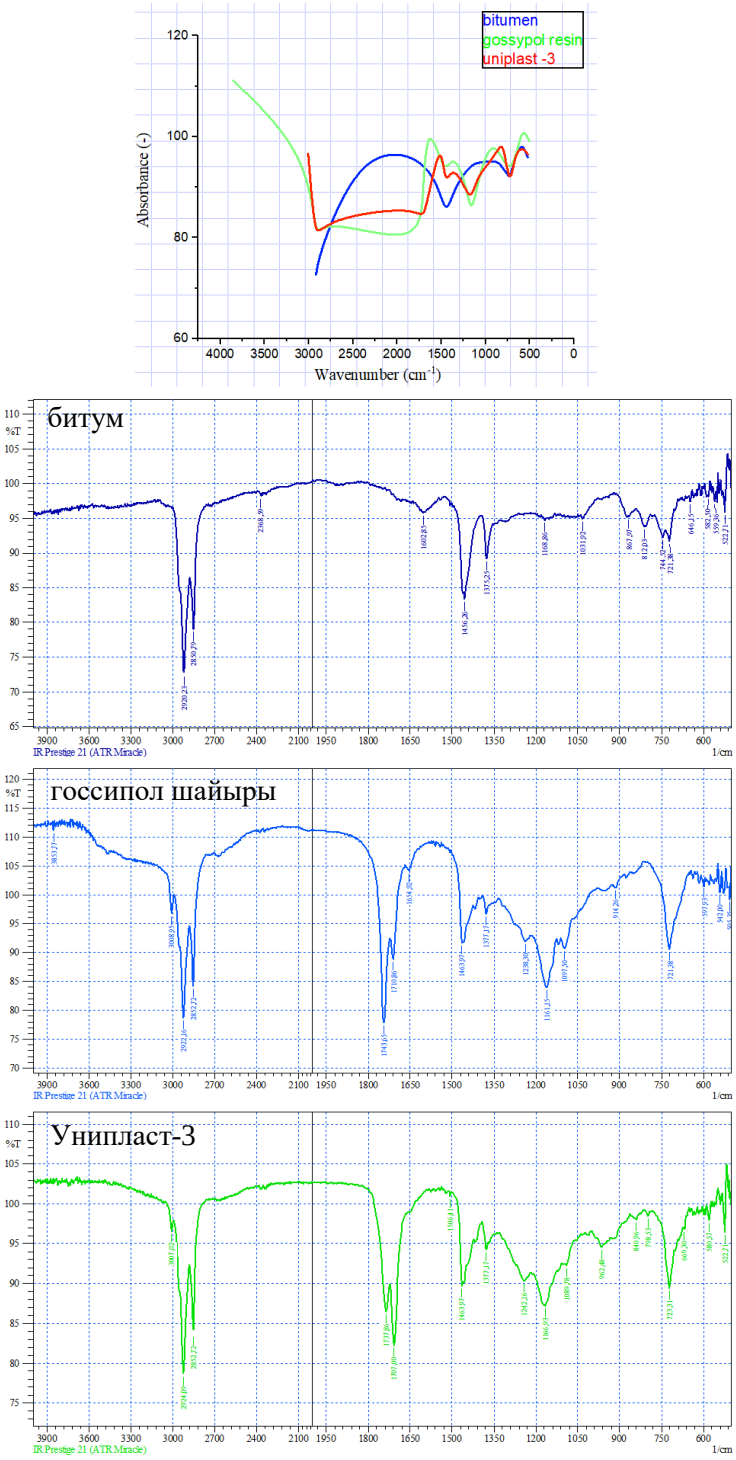
б

Сурет 5. а – ПББ-тарды алуға орнатылған құрылғы; б- 3 түрлі рецептуралы ПББ-тың сыртқы көрінісі

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Жүйе компоненттерінің өзара әрекеттесу ерекшеліктерін анықтау үшін битум, Унипласт-3 және госсипол шайырының инфрақызыл спектрлері зерттелді.

Бастапқы үлгінің ИҚ-Фурье спектрі мұнай битумдарына тән жұтылу жолақтарымен сипатталады. Спектрде 2920 және 2850 см$^{-1}$ аймағында алифатты тізбектердің С–Н валенттік тербелістеріне сәйкес жолақтар байқалады. Сонымен қатар 1456 және 1375 см$^{-1}$ аймақтарында –CH_2– және –

CH_3 топтарының деформациялық тербелістері анық көрінеді. Ароматтық құрылымдарға тән жолақтар шамамен 1600 $см^{-1}$ және 870–810 $см^{-1}$ диапазонында тіркеледі.



Сурет 6. ИҚ-Фурье (FTIR) талдауының бастапқы битум, госсипол және Унипласт-3 спектрлерінің біріккен және бөлек көрсетілген графиктері

1700 см$^{-1}$ шамасындағы карбонил тобына (C=O) сәйкес келетін қарқынды жолақтың болмауы материал құрамында айқын тотығу үдерістерінің немесе химиялық модификацияның байқалмайтынын көрсетеді.

Госсипол шайырының ИҚ-Фурье спектрі оның химиялық табиғатына тән сипаттамалық жұтылу жолақтарымен ерекшеленеді. Спектрде шамамен 3400 см$^{-1}$ аймағында гидроксил топтарының (O–H) валенттік тербелістеріне сәйкес келетін кең жолақ байқалады. Сонымен қатар 1730 см$^{-1}$ маңында карбонил топтарына (C=O) тән айқын жұтылу жолағы тіркеледі. 1600 см$^{-1}$ аймағында ароматтық сақиналардың C=C тербелістеріне сәйкес сигналдар көрінеді, ал 1200–1000 см$^{-1}$ диапазонында C–O байланыстарына тән жолақтар анық байқалады.

Аталған спектралдық белгілер госсипол шайырының фенолдық және ароматтық құрылымға ие екенін дәлелдейді және зерттелген үлгінің бастапқы, модификацияланбаған күйде екенін көрсетеді.

Үлгінің ИҚ-Фурье спектрінде шамамен 1730 см$^{-1}$ аймағында күрделі эфирлерге тән карбонил тобының (C=O) айқын жұтылу жолағы байқалады. Сонымен қатар 1240–1100 см$^{-1}$ диапазонында C–O–C және C–O байланыстарының валенттік тербелістеріне сәйкес келетін қарқынды жолақтар тіркеледі. 2920–2850 см$^{-1}$ аймағында алифаттық C–H байланыстарының тербелістері көрінеді.

Аталған спектралдық белгілер зерттелген заттың эфирлік табиғатын растайды және оның химиялық құрамы Унипласт-3 пластификаторының құрылымдық ерекшеліктерімен сәйкес келетінін көрсетеді.Келесі 6-суретте ИҚ-Фурье (FTIR) талдауының бастапқы битум, госсипол және Унипласт-3 спектрлерінің біріккен және бөлек көрсетілген графиктері берілген.

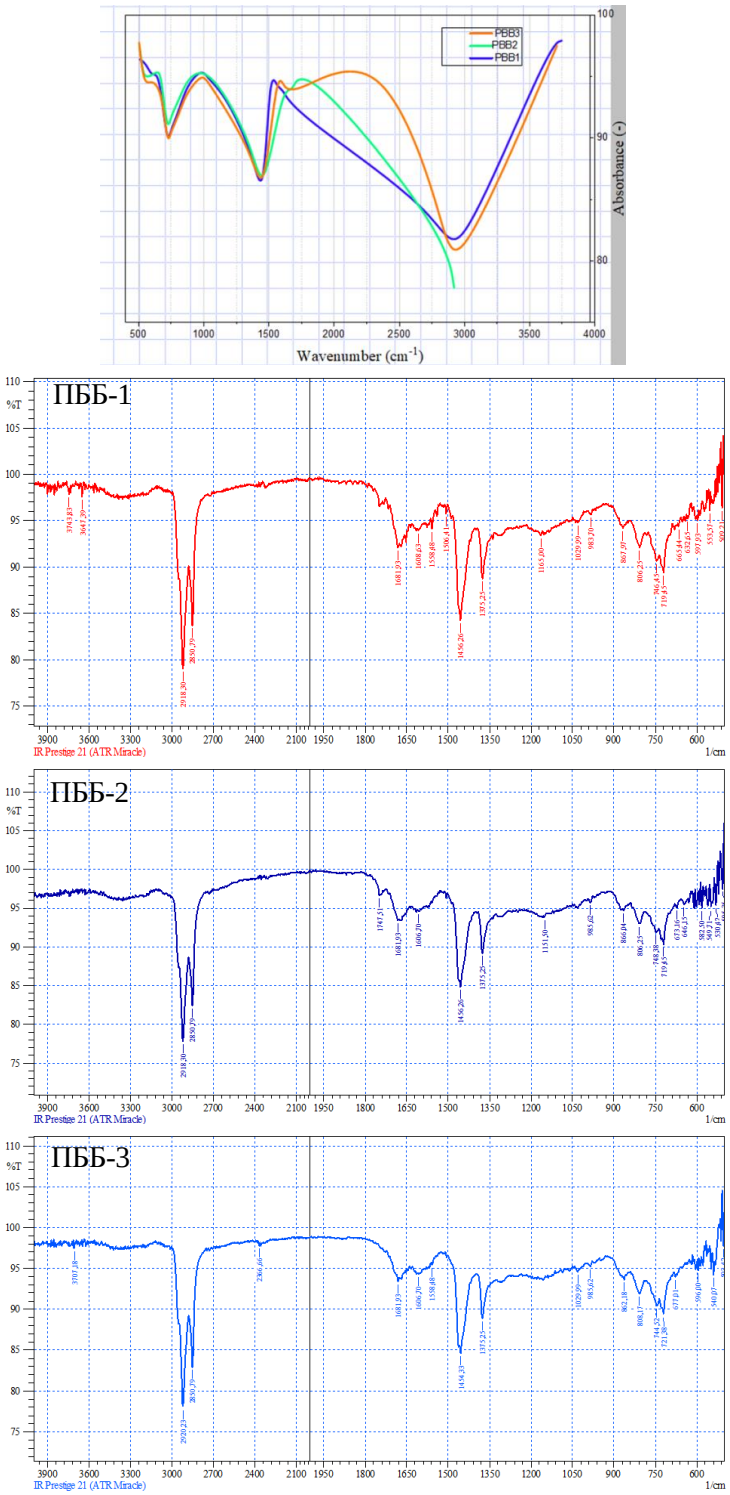
Келесі кезеңде модификацияланған полимер-битумды байланыстырғыштардың ПББ-1, ПББ-2, және ПББ-3-тің ИҚ-Фурье талдаулары жүргізілді. ПББ- 1 спектрі мұнай битумына тән алифаттық және ароматтық жолақтармен сипатталады; онда айқын білінетін қарқынды карбонилді және эфирлік тербелістер жоқ, бұл айтарлықтай химиялық модификацияның жоқтығын білдіреді. ИҚ-Фурье (FTIR) талдауы жаңа функционалды топтардың түзілуін анықтамады. Модификация негізінен физика-механикалық сипатқа ие.

ПББ-2-нің ИҚ-Фурье (FTIR) талдауы жаңа функционалды топтардың түзілмегенін көрсетті. 1735 см$^{-1}$ және 1100–900 см$^{-1}$ аймағындағы жолақтар қарқындылығының байқалған өзгерістері пластификатор мен минералды толтырғыштың (вермикулиттің) болуына байланысты, бұл модификацияның физикалық-дисперсиялық сипатын растайды.

ПББ-3-тің ИҚ-Фурье (FTIR) талдауы битумға тән алифаттық және ароматтық жолақтардың бар екенін көрсетті. Түйіндес карбонил топтарына сәйкес келетін ~1680 см$^{-1}$ аймағында жолақтың пайда болуы, сондай-ақ ароматтық аймақтың (~1600 см$^{-1}$) күшеюі госсипол шайырының болуымен байланысты. Унипласт-3 қосылған құрамдармен салыстырғанда, аталған үлгіде спектрлік өзгерістер анағұрлым айқын байқалады. Бұл жүйеде молекулааралық өзара әрекеттесулердің белсендірек жүруі мүмкін екенін көрсетеді.Жаңа функционалды топтар анықталған жоқ, бұл модификацияның негізінен физикалық-дисперсиялық сипатта екенін білдіреді. Осы 3 ПББ-тың спектр жолақтары бейнеленген 7-суретте көрсетілген.

ИҚ-Фурье (FTIR) талдауы Унипласт-3, госсипол шайыры, полиэтилен және вермикулитті енгізу битум матрицасында жаңа химиялық

байланыстардың түзілуіне әкелмейтінін көрсетті. Спектрлер бастапқы битум мен қоспалар жолақтарының суперпозициясы (қабаттасуы) болып табылады.



Сурет 7. ИҚ-Фурье (FTIR) талдауының бастапқы ПББ-1, ПББ-2 және ПББ-3 спектрлерінің біріккен және бөлек көрсетілген графиктері

Жалпы алғанда, спектрлерді салыстырмалы талдау нәтижелері битумды әртүрлі қоспалармен модификациялау барысында түбегейлі жаңа химиялық құрылымдардың түзілмейтінін көрсетті. Дегенмен, сипаттамалық жолақтардың арақатынасы мен қарқындылығы өзгереді. Бұл модификатордың табиғатына байланысты молекулааралық әрекеттесулер дәрежесінің әртүрлі болатынын аңғартады.

Полимер-битумды байланыстырғыштардың консистенциясына пластификатор және модификатор қоспалардың әсерін бағалау мақсатында 25°С температурада пенетрация стандартты әдістеме бойынша (МЕСТ 11501-78 – Мұнай битумдары бойынша анықталды. ПНБ-02М пенетрометрінде иненің ену тереңдігін анықтау әдісі) анықталды. Алынған нәтижелер 3-кестеде берілген.

Кесте 3

3 түрлі ПББ-тардың пенетрация көрсеткіші

Құрамы	Пенетрация (0,1 мм)	Өзгеріс, %
Битум	70	–
ПББ-1	85	+21
ПББ-2	75	+7
ПББ-3	80	+14

ПББ-1 құрамына Унипласт-3 енгізу нәтижесінде пенетрация бастапқы битуммен салыстырғанда 21%-ға артты. Көрсеткіштің өсуі жүйенің құрылымдық қаттылығының төмендеуін және дисперстік ортаның қозғалғыштығының артуын көрсетеді.

Алынған нәтижелер Унипласт-3-тің айқын пластификациялаушы әсерін дәлелдейді. Пластификатор асфальтен-шайырлы матрицадағы молекулааралық әрекеттесулерді әлсіретіп, құрылым элементтерінің еркін қозғалуына ықпал етеді деп болжам жасауға болады. Бұл қорытынды ИК-спектроскопия нәтижелерімен де үйлеседі, яғни жаңа химиялық байланыстардың түзілуі байқалмайды, өзгерістер негізінен жолақ қарқындылығының ауытқуымен сипатталады.

ПББ-2 үлгісінде пенетрация 75 (0,1 мм) мәнін көрсетті, бұл бастапқы битумнан жоғары болғанымен, ПББ-1-ге қарағанда төмен. ПББ-1-мен салыстырғандағы төмендеу вермикулиттің армирлеуші әсерімен түсіндіріледі.

Минералды толтырғыш дамыған беттік құрылымға және силикатты табиғатқа ие бола отырып, жүйенің кеңістіктік қаттылығын арттырады. Осылайша, берілген құрамда Унипласт-3-тің пластификациялаушы әсері вермикулиттің құрылымдаушы ықпалымен ішінара теңгеріледі.

ПББ-3 құрамының пенетрациясы 80 (0,1 мм) құрап, бастапқы битуммен салыстырғанда 14%-ға жоғары болды. Бұл нәтиже госсипол шайырының байланыстырғыш құрылымына модификациялаушы әсерін көрсетеді.

Унипласт-3 қосылған жүйелерден айырмашылығы, бұл жағдайда өзгерістер тек пластификациямен ғана емес, шайырдың функционалдық топтарының молекулааралық әрекеттесулерге қатысуымен байланысты болуы мүмкін. Мұндай ерекшеліктер ИК-спектрлік талдау нәтижелерімен де сәйкес келеді, онда гидроксил және ароматты фрагменттерге тән қосымша жолақтар байқалады.

Жүргізілген талдау нәтижелері Унипласт-3 енгізілген жағдайда ең жоғары пластификациялаушы әсердің байқалатынын көрсетті (ПББ-1).

Вермикулиттің қосылуы жүйенің құрылымдық қаттылығын арттырады, ал госсипол шайыры күрделірек молекулааралық әрекеттесулердің қалыптасуына ықпал етеді.

Пенетрация көрсеткіштеріндегі өзгерістер ИК-спектроскопиялық зерттеу нәтижелерімен өзара сәйкес келеді және байланыстырғыш қасиеттерінің өзгеруі модификатор табиғатына тәуелді екенін дәлелдейді.

Қорытынды. Ғылыми басылымдар мен мамандандырылған салалық материалдарды талдау полимер-битум байланыстырғыштардағы пластификациялаушы қоспалар материалдың құрылымдық күйін, деформация қасиеттерін және пайдалану факторларына төзімділігін анықтайтын негізгі функционалдық рөл атқаратыны туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді. Олардың мақсаты тұтқырлықты реттеудің жеңілдетілген шеңберінен тыс және битум-полимер жүйесінің ішкі құрылымын қалыптастыру мен тұрақтандыруды қамтиды.

Пластификаторларды әсер ету механизмі мен химиялық табиғаты бойынша жіктеу тиімді ПББ-тар формулаларын әзірлеу үшін өте маңызды екені көрсетілді. Физикалық түрде енгізілген эфир типті пластификаторлар мен модификацияланған май компоненттері төмен температурада жарықшақтарға төзімділікке ең айқын әсер етеді, ал жоғары молекулалық қосылыстар материалдың термиялық тұрақтылығын арттыруға және төмен молекулалық салмақтағы фракциялардың миграциясына сезімталдықты төмендетуге ықпал етеді.

Пластификаторлық қоспалардың әсер ету механизмін сипаттайтын қолданыстағы теориялық тұжырымдамаларды шолу битум-полимер-пластификатор жүйесіндегі өзара әрекеттесулердің жиынтығын ескеретін механикалық модельдің практикалық қолдану мүмкіндігінің жоғары екенін көрсетті. Алынған қорытындылар пластификаторлардың көмекші компоненттер ретінде пассивті рөлін емес, байланыстырғыштың кеңістіктік құрылымын қалыптастыруға белсенді қатысуын растайды.

Полифосфор қышқылын қоса алғанда, қышқыл компоненттерді қолдана отырып, ПББ-тарды көпфакторлы модификациялауға қызығушылық артып келеді. Дегенмен, әдебиетте ұсынылған нәтижелердің басым көпшілігі зертханалық зерттеулермен шектеледі. Нақты жұмыс жағдайларында ұзақ мерзімді сынақтар туралы деректердің жетіспеушілігі ұсынылған технологиялық шешімдерді іс жүзінде енгізуге кедергі келтіреді.

ТМД елдеріндегі және Қазақстан Республикасындағы нарықтық жағдайды талдау пластификациялаушы қоспаларға импортқа айтарлықтай тәуелділікті, сондай-ақ өндіріс көлемі мен өнімдердің химиялық құрамы туралы сенімді статистикалық ақпараттың жетіспеушілігін анықтады. Бұл факторлар пайдаланылатын материалдарды объективті бағалау мүмкіндігін шектейді және климаттық қиындықтары бар аймақтарға бейімделген құрамдарды енгізуді баяулатады.

Әдеби деректерді жалпылау нәтижесінде әрі қарайғы зерттеулердің перспективалық бағыты пластификацияның тұрақты, ыстыққа төзімді және экологиялық бейтарап жүйелерін әзірлеу болып табылатыны анықталды. Меншікті рецептураларды қалыптастыру, заттай сынақтар жүргізу және эксплуатациялық және экономикалық көрсеткіштерді қоса алғанда, тиімділіктің кешенді критерийлерін пайдалана отырып, қартаю процестерін зерттеу басым міндеттер болып табылады. Жүргізілген зерттеу нәтижелері полимер-битум байланыстырғыштар құрамындағы пластификациялаушы және модификациялаушы қоспалардың материалдың құрылымдық күйіне

және консистенциялық қасиеттеріне тікелей әсер ететінін көрсетті. Унипласт-3 енгізілген құрамда пенетрация көрсеткішінің артуы жүйенің құрылымдық қаттылығының төмендегенін және пластификациялау әсерінің айқын байқалатынын дәлелдейді.

ИК-Фурье спектроскопия нәтижелері жаңа химиялық қосылыстардың түзілмейтінін, алайда сипаттамалық жолақтардың қарқындылығы өзгеретінін көрсетті. Бұл өзгерістер молекулааралық әрекеттесулердің әлсіреуімен және битум матрицасының құрылымдық қозғалғыштығының артуымен түсіндіріледі. Осылайша, Унипласт-3 битум-полимер жүйесінде физикалық сипаттағы пластификатор ретінде әрекет етеді.

Вермикулит қосылған құрамда пенетрацияның салыстырмалы түрде төмендеуі минералды толтырғыштың құрылымдаушы және армирлеуші әсерімен байланысты екені анықталды. Бұл жағдайда пластификациялаушы және құрылымдаушы факторлардың теңгерімі қалыптасады.

Госсипол шайыры негізіндегі құрамда спектрлік өзгерістердің айқынырақ байқалуы және пенетрация мәнінің модификациялануы функционалдық топтардың молекулааралық әрекеттесулерге қатысу ықтималдығын көрсетеді. Бұл жүйеде пластификациялау мен құрылымдану құбылыстарының қатар жүруі мүмкін.

Осылайша, зерттеу нәтижелері пластификаторлардың полимер-битум байланыстырғыштарда тек тұтқырлықты реттеуші емес, кеңістіктік құрылымды қалыптастыруға ықпал ететін белсенді компонент екенін дәлелдейді. Қоспалардың химиялық табиғаты олардың әсер ету механизмін айқындайды және байланыстырғыштың эксплуатациялық қасиеттеріне тікелей ықпал етеді.

Алынған нәтижелер Қазақстан Республикасының күрт континенталды климат жағдайында қолдануға бейімделген полимер-битум байланыстырғыштардың тиімді рецептураларын қалыптастыруға негіз бола алады.

Зерттеудің келешектегі бағыты ретінде қартаю процестерін модельдеу, ұзақ мерзімді термиялық тұрақтылықты бағалау және құрылымдық өзгерістерді кешенді физика-химиялық әдістермен зерттеу ұсынылады.

Әдебиеттер тізімі

1. Ferry J.D. Viscoelastic Properties of Polymers. – 3rd ed. – New York: Wiley, 1980. – 641 p.
2. Sperling L.H. Introduction to Physical Polymer Science. – 4th ed. – Hoboken: Wiley, 2006. – 845 p.
3. Braun D. Plastics Additives and Modifiers Handbook. – Berlin: Springer, 2001. – 556 p.
4. Wypych G. Handbook of Plasticizers. – 2nd ed. – Toronto: ChemTec Publishing, 2017. – 889 p.
5. Vieira M., Altenhofen M., Oliveira L.M., et al. Natural-based plasticizers and biopolymer films // European Polymer Journal. – 2011. – Vol. 47, No. 3. – P. 254-263. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2010.12.011.
6. Rahman M., Brazel C.S. The plasticizer market and sustainability // Progress in Polymer Science. – 2004. – Vol. 29, No. 12. – P. 1223-1248. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2004.10.001.
7. Titov V., Zaumanis M., Rudenskaya I. Effect of plasticizers on bitumen rheology and modification efficiency // Construction and Building Materials. – 2021. – Vol. 287. – Art. 123202.

8. Lesueur D. The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification // Advances in Colloid and Interface Science. – 2009. – Vol. 145, Nos. 1–2. – P. 42-82. DOI: 10.1016/j.cis.2008.08.011.
9. Airey G.D. Rheological properties of styrene–butadiene–styrene polymer modified road bitumens // Fuel. – 2003. – Vol. 82, No. 14. – P. 1709-1719. DOI: 10.1016/S0016-2361(03)00146-7.
10. Polacco G., Filippi S., Merusi F., Stastna J. A review of the fundamentals of polymer-modified asphalts // Advances in Colloid and Interface Science. – 2015. – Vol. 224. – P. 72-112. DOI: 10.1016/j.cis.2015.07.010.
11. Heudorf U., Mersch-Sundermann V., Angerer J. Phthalates: Toxicology // International Journal of Hygiene and Environmental Health. – 2007. – Vol. 210, No. 5. – P. 623-634. DOI: 10.1016/j.ijheh.2007.07.011.
12. Chang Y., Luo Y., Guo S. Bio-plasticizers for PVC // Green Chemistry. – 2016. – Vol. 18, No. 12. – P. 3631-3648. DOI: 10.1039/C6GC00949B.
13. Transparency Market Research. Global Plasticizers Market Report [Electronic resource]. – Albany: TMR, 2024.
14. Fortune Business Insights. Plasticizers Market Size, Share & Industry Analysis by Type, Application and Regional Forecast, 2023–2032. – Pune: Fortune Business Insights, 2023.
15. Mordor Intelligence. Plastic Additives Market – Growth, Trends, Forecasts (2024–2030). – Hyderabad: Mordor Intelligence, 2024.
16. Markets and Markets Research. Polymer Modified Bitumen Market – Global Forecast to 2030. – Northbrook: MarketsandMarkets, 2023.
17. Lu X., Redelius P. Compositional changes in asphalt oxidation // Energy & Fuels. – 2006. – Vol. 20, No. 2. – P. 653-660. DOI: 10.1021/ef050308t.
18. Airey G.D., Rahman M.M., Collop A.C. Fundamental performance of polymer modified bitumen // Road Materials and Pavement Design. – 2004. – Vol. 5, No. 2. – P. 257-273. DOI: 10.1080/14680629.2004.9689997.
19. Data Bridge Market Research. Russia Non-Phthalate Plasticizers Market – Industry Trends and Forecast to 2032. Pune: Data Bridge Market Research, 2024 [Electronic resource]. – Access mode: https://www.databridgemarketresearch.com.
20. Yilmaz M., Gungor A.G., Koksal F., et al. Aging mechanisms of polymer modified bitumen // Journal of Materials in Civil Engineering. – 2013. – Vol. 25, No. 6. – P. 818-826.
21. Song R., Wang H., Zhang Y., et al. Polyphosphoric acid and plasticizer modified asphalt // Construction and Building Materials. – 2021. – Vol. 291. – Art. 125158. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.125158.
22. Li, C., Li, Z., Guo, T., Chen, Y., Liu, Q., Wang, J., Jin, L. Study on the performance of SBS/polyphosphoric acid composite modified asphalt // Coatings. – 2024. – Vol. 14, No. 1. – Art. 72. DOI: 10.3390/coatings14010072.
23. Wei J., Zhang Y., Liu Z., et al. Low-temperature performance of polyphosphoric acid modified asphalt // Materials. – 2022. – Vol. 16, No. 1. – Art. 111. DOI: 10.3390/ma16010111.
24. Xue Y. Research Progress and Prospect of Polyphosphoric Acid Modified Asphalt Technology // Advances in Research. – 2024. – Vol. 25, No. 4. – P. 465-478. DOI: 10.9734/AIR/2024/v25i41126.
25. 25. Liang, J., Xiang, Q., Alae, M., Xiao, F. Recent development of polyphosphoric acid composite modified asphalt in pavement // Journal of Cleaner Production. – 2025. – Vol. 486. – Art. 144474. DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.144474.
26. GOST 11501-78. Bitumy neftyanye. Metod opredeleniya glubiny pronikaniya igly [Oil bitumens. Method for determination of needle penetration depth]. – Introduced 01.01.1980. – Moscow: Standartinform, 2008. – 5 p. [in Russian].

Материал редакцияға 10.12.25 түсті, 29.04.26 қабылданды.

Г.А. Турлыбек[1], К.К. Сырманова[1], Н.М. Дәуренбек[1]

[1]Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

РОЛЬ ПЛАСТИФИКАТОРА В ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ

Аннотация. В статье проанализированы пластифицирующие добавки, применяемые в составе полимерно-битумных вяжущих (ПБВ), и показано их влияние на формирование реологических, структурных и эксплуатационных характеристик материала. Рассмотрены современные классы пластификаторов – сложные эфиры, нефтяные масла, полимерные добавки и биопластификаторы – с позиций совместимости с битумно-полимерной матрицей, эффективности модифицирующего действия и экологической безопасности. Установлено, что тип и дозировка пластификатора существенно определяют температурную чувствительность, фазовую стабильность и устойчивость ПБВ к термоокислительному старению. Подчёркнута научная и практическая значимость разработки рецептур, адаптированных к условиям резко континентального климата Казахстана и стран СНГ, а также необходимость проведения долговременных полевых исследований. Полученные обобщения обосновывают целесообразность комплексной оценки эксплуатационных, экономических и экологических аспектов при выборе пластифицирующих систем и формируют научную основу для оптимизации состава ПБВ.

Ключевые слова: полимерно-битумные вяжущие, пластификаторы, комбинированная модификация, совместимость, дорожные покрытия, климатическая устойчивость, деформационная стойкость, долговечность.

G.A. Turlybek[1], K.K. Syrmanova[1], N.M. Daurenbek[1]

[1]M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

THE ROLE OF PLASTICIZERS IN POLYMER-BITUMEN BINDERS

Abstract. This article analyzes plasticizing additives used in polymer-bitumen binders (PBBs) and demonstrates their influence on the rheological, structural, and performance characteristics of the material. Modern classes of plasticizers – esters, petroleum oils, polymer additives, and bioplasticizers – are considered in terms of compatibility with the bitumen-polymer matrix, the effectiveness of their modifying action, and environmental safety. It is established that the type and dosage of plasticizer significantly determine the temperature sensitivity, phase stability, and resistance of PBBs to thermal-oxidative aging. The scientific and practical importance of developing formulations adapted to the sharply continental climate of Kazakhstan and the CIS countries, as well as the need for long-term field studies, are emphasized. The obtained conclusions substantiate the feasibility of a comprehensive assessment of operational, economic, and environmental aspects when selecting plasticizing systems and form a scientific basis for optimizing PBB composition.

Keywords: polymer-bitumen binders, plasticizers, combined modification, compatibility, road surfaces, climate resistance, deformation resistance, durability.

ҒТАМР 61.59.37

А. Азимов[1] – *негізгі автор*,
Г.М. Изтлеуов[2], **А.А. Болысбек**[3] ©

[1]*PhD, доцент,* [2]*Хим. ғылым. канд., профессор,* [3]*Техн. ғылым. канд., доцент*

ORCID [1]*https://orcid.org/0000-0002-1316-5854* [2]*https://orcid.org/0000-0002-5722-342X*
[3]*https://orcid.org/0000-0001-8708-2608*

[1,2,3]*М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті,*
Шымкент, Қазақстан

@ [2]*gani5@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/QESY9252

ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫ ТЕРМОГРАВИМЕТРИЯЛЫҚ ӘДІСПЕН КАОЛИН, АКРИЛАМИД ЖӘНЕ КРАХМАЛ НЕГІЗІНДЕ АЛЫНҒАН ГИДРОГЕЛЬДЕРДІҢ ҚАСИЕТІН ТАЛДАУ

Аңдатпа. Бұл жұмыста крахмал, акриламид және каолин негізінде алынған композиттік гидрогельдердің құрылымдық, морфологиялық және термиялық қасиеттері зерттелді. Гидрогельдер бос радикалды сополимерлену арқылы синтезделді. Термогравиметриялық талдау гидрогельдердің көпсатылы термиялық ыдырауға ұшырайтынын көрсетті: 70-250°C аралығында массаның шамамен 11,07% төмендеуі, 250-320°C аралығында 8,28% және 320-350°C аралығында 3,71% ыдырауы анықталды. DTG қисығында Tmax ≈ 290°C мәнінде ыдыраудың ең жоғары жылдамдығы байқалып, бұл композиттің жеткілікті термиялық тұрақтылыққа ие екенін көрсетті. Зерттеу нәтижелері каолиннің полимер матрицасының құрылымдық беріктігін арттырып, гидрогельдердің тұрақтылығын күшейтетінін дәлелдеді. Алынған нәтижелер гидрогельдердің су сіңіру қабілеті жоғары және құрылымдық тұрғыдан тұрақты материал екенін дәлелдейді. Термогравиметриялық талдау композиттердің көпсатылы термиялық ыдырауға ұшырайтынын және каолиннің термиялық тұрақтылықты арттыратынын дәлелдеді. Алынған гидрогельдер экологиялық қауіпсіз, құрылымдық тұрғыдан тұрақты материалдар ретінде ауыл шаруашылығы мен қоршаған ортаны қорғау салаларында қолдану маңызы үлкен болып табылады.

Тірек сөздер: гидрогельдер, крахмал, акриламид, каолин, термогравиметриялық талдау, композиттік материалдар.

Азимов, А. Дифференциалды термогравиметриялық әдіспен каолин, акриламид және крахмал негізінде алынған гидрогельдердің қасиетін талдау [Мәтін] / А. Азимов, Г.М. Изтлеуов, А.А. Болысбек // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №2(92). – Б.418-426. https://doi.org/10.55956/QESY9252

Кіріспе. Қазіргі таңда су ресурстарының тапшылығы, климаттық өзгерістердің күшеюі және ауыл шаруашылығы мен өнеркәсіптің қарқынды дамуы жаңа функционалдық материалдарға деген сұранысты арттырып отыр [1-3]. Әсіресе ылғалды тиімді сіңіріп, ұзақ уақыт бойы ұстап тұра алатын материалдар экология, ауыл шаруашылығы, медицина және қоршаған ортаны қорғау салаларында маңызды орын алады [2,4]. Осы тұрғыдан алғанда,

суперсіңіргіш гидрогельдер соңғы жылдары ғылыми зерттеулердің өзекті объектілерінің біріне айналды [1,5].

Гидрогельдер – бұл суды немесе сулы ерітінділерді өзінің массасынан ондаған, тіпті жүздеген есе артық мөлшерде сіңіре алатын, үшөлшемді торлы құрылымға ие полимерлік материалдар [4,6]. Олардың ерекше қасиеттері полимер тізбектерінің айқастырып тігілген құрылымына және құрамындағы гидрофильді функционалдық топтардың болуына байланысты [6,7]. Мұндай материалдар топырақтың ылғал сақтау қабілетін арттыруда, тыңайтқыштар мен пестицидтердің бақыланатын босап шығуын қамтамасыз етуде, сондай-ақ әртүрлі сорбциялық жүйелерде кеңінен қолданылады [3,5].

Дегенмен, дәстүрлі синтетикалық суперсіңіргіш полимерлердің өндірісі көбінесе мұнай-химия шикізатына негізделеді және олардың биологиялық ыдырауы төмен деңгейде болады, бұл қоршаған ортаға қосымша экологиялық жүктеме түсіреді [4,8]. Осыған байланысты соңғы жылдары табиғи полимерлерге негізделген, экологиялық тұрғыдан қауіпсіз және экономикалық тиімді гидрогельдерді әзірлеуге бағытталған зерттеулерге ерекше назар аударылуда [1,6].

Табиғи полимерлердің ішінде крахмал жаңартылатын, биологиялық ыдырайтын және кең таралған шикізат көзі ретінде ерекше қызығушылық тудырады [6,9]. Оның молекулалық құрылымындағы гидроксил топтары крахмалды химиялық модификациялауға және әртүрлі сополимерлер алу үшін қолайлы жағдай жасайды [7]. Алайда таза крахмал негізіндегі гидрогельдердің механикалық беріктігі мен суда тұрақтылығы жеткіліксіз болғандықтан, оларды синтетикалық мономерлермен, соның ішінде акриламидпен кополимерлеу тиімді тәсіл болып табылады [5,10].

Соңғы зерттеулер минералды қоспаларды енгізу гидрогельдердің функционалдық және термиялық қасиеттерін жақсартатынын көрсетеді [8,10]. Осы тұрғыда каолин полимер матрицасында қосымша айқастырып тігу орталықтарын қалыптастырып, гидрогельдердің механикалық беріктігін, құрылымдық біркелкілігін және термиялық тұрақтылығын арттыратыны анықталған [9,10].

Табиғи полимерлердің ішінде крахмал ерекше қызығушылық тудырады. Крахмал – жаңартылатын, биологиялық ыдырайтын және кең таралған шикізат көзі болып табылады. Оның молекулалық құрылымында көптеген гидроксил топтарының болуы крахмалды химиялық модификациялауға және әртүрлі сополимерлер алу үшін қолайлы етеді. Алайда таза крахмал негізіндегі гидрогельдер әдетте механикалық беріктігі төмен және суда тұрақтылығы жеткіліксіз болады. Сондықтан крахмалдың функционалдық қасиеттерін жақсарту мақсатында оны синтетикалық мономерлермен кополимерлеу тиімді тәсілдердің бірі болып саналады.

Акриламид крахмалмен бірге қолданылатын ең кең таралған мономерлердің бірі болып табылады. Акриламид негізіндегі полимерлер жоғары гидрофильділігімен, жақсы ісіну қабілетімен және салыстырмалы түрде тұрақты құрылымымен ерекшеленеді. Крахмал мен акриламидтің егу кополимерленуі нәтижесінде алынған гидрогельдер табиғи және синтетикалық компоненттердің артықшылықтарын біріктіріп, жақсартылған сорбциялық және механикалық қасиеттерге ие болады.

Соңғы зерттеулер көрсеткендей, минералды қоспаларды енгізу гидрогельдердің функционалдық сипаттамаларын одан әрі жақсартуға мүмкіндік береді. Осы тұрғыда каолин ерекше қызығушылық тудырады. Каолин – қабатты құрылымға ие алюмосиликатты минерал, ол жоғары

химиялық тұрақтылығымен, қолжетімділігімен және экологиялық қауіпсіздігімен сипатталады. Каолин бөлшектерін полимер матрицасына енгізу айқастырып тігудің қосымша нүктелерін қалыптастырып, гидрогельдің механикалық беріктігін, термиялық тұрақтылығын және құрылымдық біркелкілігін арттырады.

Сонымен қатар, каолиннің болуы гидрогельдің су сіңіру және ылғалды ұстап тұру қасиеттеріне айтарлықтай әсер етеді. Минералды бөлшектер полимер торының кеңеюін реттеп, су молекулаларының біркелкі таралуына жағдай жасайды. Алайда каолин мөлшерінің шамадан тыс артуы полимер тізбектерінің қозғалысын шектеп, керісінше, гидрогельдің ісіну дәрежесінің төмендеуіне әкелуі мүмкін. Сондықтан композиция құрамындағы әрбір компоненттің оңтайлы мөлшерін анықтау аса маңызды ғылыми міндет болып табылады.

Гидрогельдердің қасиеттері тек олардың химиялық құрамына ғана емес, сондай-ақ синтез шарттарына, инициатор мен айқастырып тігуші агенттің мөлшеріне, сондай-ақ сыртқы орта факторларына да тәуелді. Мысалы, ерітіндінің иондық құрамы мен тұз концентрациясының артуы гидрогельдердің су сіңіру қабілетінің төмендеуіне әкелетіні белгілі. Бұл құбылыс осмостық қысымның өзгеруімен және полимер тізбектерінің электростатикалық өзара әрекеттесуімен түсіндіріледі. Осыған байланысты гидрогельдердің тұзды ортадағы мінез-құлқын зерттеу олардың практикалық қолданылу аясын бағалауда маңызды рөл атқарады.

Осы жұмыстың негізгі мақсаты – крахмал, акриламид және каолин негізінде суперсіңіргіш гидрогель-композиттерді синтездеп, олардың құрылымдық, морфологиялық, термиялық және сорбциялық қасиеттерін жан-жақты зерттеу болып табылады. Алынған нәтижелер табиғи және минералды шикізатқа негізделген суперсіңіргіш композиттерді әзірлеу бағытындағы ғылыми ізденістерді кеңейтіп, экологиялық тұрғыдан қауіпсіз әрі экономикалық тиімді материалдар жасауға мүмкіндік береді.

Зерттеу шарттары мен әдістері. *Қолданылған материалдар.* Зерттеу барысында «Golden Corn» (Ташкент крахмал зауыты) өндіретін жүгері крахмалы $(C_6H_{10}O_5)_n$ пайдаланылды. Ол ақ түсті, қатты ұнтақ түрінде болады. Молярлық массасы – 162,14·n г/моль, тығыздығы – 1,5 г/см³. Каолин ретінде Өзбекстан Республикасының Ташкент облысы, Ангрен қаласында орналасқан «Angren Kaolin» ЖШС өндірістік кешенінің өнімі қолданылды. Бұл – Орталық Азиядағы жалғыз каолин байыту фабрикасы. Кәсіпорын AKF-78, AX-30 және ACT-10 маркалы каолиндерді шығарады. Каолинит және каолинит тобына жататын минералдар (диккит, галлуазит және басқалары) қабатты құрылымға ие. Әрбір қабат кремний-оттекті тетраэдрлік және алюминий-оттек-гидроксилді октаэдрлік торлардың біріккен жүйесінен тұрады.

pH мәнін анықтау. Орта реакциясын анықтау үшін pH-метр немесе индикаторлық қағаз қолданылды.

Композиттік материалдардың құрылымын ИҚ-спектроскопия әдісімен зерттеу. Инфрақызыл (ИҚ) спектроскопия инфрақызыл аймақтағы сәуле шығару, жұтылу және шағылу спектрлерін тіркеу мен талдауға негізделген әдіс болып табылады. Композиттік үлгілердің шамамен 12 мкм қалыңдықтағы қабықшаларынан SHIMADZU IRAFFINITY (Жапония) аспабында ИҚ-спектрлер алынды. Жоғары ісінгіш гидрогельдердің ИҚ-спектрлерінде мономерлік буындарға тән функционалдық топтарға сәйкес жұтылу жолақтары байқалды [20,21].

Сканерлеуші электрондық микроскопия (SEM). Гидрогельдердің фазалық морфологиясы мен құрылымдық ерекшеліктері, сондай-ақ синтез шарттары мен қосымша компоненттердің әсері Jeol Interactive Corporation (Жапония) өндірісіндегі JSM-6460LA маркалы сканерлеуші электрондық микроскоп көмегімен зерттелді.

Дифференциалды термогравиметриялық талдау. Синтезделген қосылыстардың термиялық тұрақтылығы Paulik F, Paulik I, Erdey L жүйесіне негізделген дериватограф арқылы дифференциалды термогравиметриялық әдіспен анықталды. Дифференциалды термогравиметриялық талдау Paulik–Paulik–Erdey derivatograph қондырғысында жүргізілді. Талдау 293-793 К температура аралығында, температураны көтеру жылдамдығы 2-5 К/мин болған жағдайда жүргізілді [22,23].

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Полимер материалдарының құрылымдық ерекшеліктерін талдауда олардың су сіңіру қабілетін анықтау маңызды әдістердің бірі болып саналады. Көптеген гидрофильді полимерлер үшін су негізгі белсенді сорбент рөлін атқарады, ал материал кеуектілігі судың сорбциялану үдерісіне елеулі әсер етеді.

Персульфатты қыздырған кезде сульфат аниондық радикалдары су молекулаларымен әрекеттесіп, бос радикалдардың түзілуіне әкеледі. Бұл радикалдар крахмал молекуласының гидроксил топтарынан сутекті бөліп алады. Одан кейін түзілген белсенді орталықтарға оттек қосылып, крахмал мен акриламид арасында бос радикалды полимерлену реакциясы басталады.

Реакциялық жүйеге метилен-бис-акриламид енгізу арқылы жоғары молекулалық композиттің кеңістіктік торлы құрылымы қалыптасады. Бұл қосылыс гидрогель полимер тізбектерінің өзара байланысуын қамтамасыз ететін айқастырып тігуші агент қызметін атқарады. Каолин ұнтағы мен крахмал/акриламид/каолин негізіндегі композиттің ИҚ-спектрлері 1-суретте (a) және (b) көрсетілген.

Қабатты силикатты құрылымға тән OH-топтардың жұтылу жолақтары 3687-3618 $см^{-1}$ аймағында байқалады. Ал 1660 $см^{-1}$ маңындағы жолақ акрилат буынындағы карбонил топтарының деформациялық тербелістеріне сәйкес келеді. 1b-суреттен композиттің спектрінде 1398 және 1556 $см^{-1}$ аймақтарында жаңа жұтылу максимумдарының пайда болғаны көрінеді.

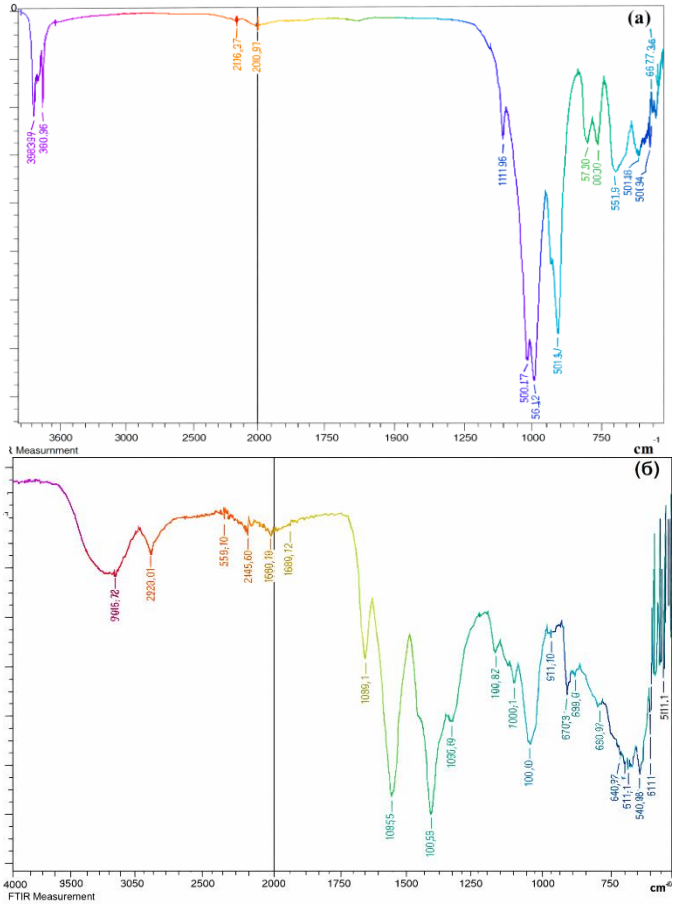
Каолин мен крахмалдағы гидроксил топтарының, сондай-ақ акриламидтің $CONH_2$ амидтік тобына тән жолақтардың кополимерлену үдерісінен кейін өзгеруі бұл функционалдық топтардың өзара химиялық әрекеттесуін көрсетеді. Нәтижесінде кеңістіктік торлы құрылым түзіліп, су сіңіруге қабілетті функционалдық топтар қалыптасады.

Айқастырып тігу механизміне сәйкес, крахмалдың гидроксил топтары инициатор әсерінен түзілген –CHO және –COH функционалдық топтарымен әрекеттесіп, олардың арасында кополимерлену жүреді деп болжауға болады. Полимер тізбектері мен каолин бөлшектері арасындағы химиялық байланыс үшөлшемді тордың түзілуіне әкеледі, ал қосымша айқастырып тігу метилен-бис-акриламид (CH_2=CH–CO–NH–CH_2–NH–CO–CH=CH_2) арқылы жүзеге асады.

Гидрогельдің су сіңіру қабілеті каолин мөлшеріне тәуелді болғандықтан, каолин бөлшектері негізінен айқастырып тігу нүктелері ретінде әрекет етіп, полимер матрицасымен химиялық байланыс түзеді деп қорытынды жасауға болады.

1-суретте а-кескінінде алынған композит үлгісінің инфрақызыл спектрі көрсетілген, ол синтезделген материалдың химиялық құрылымын және

функционалдық топтарының өзара әрекеттесуін сипаттауға мүмкіндік береді. 3600-3200 см$^{-1}$ аймағында байқалатын кең әрі қарқынды жұтылу жолағы гидроксил топтарының созылмалы тербелістеріне сәйкес келеді. Бұл құбылыс крахмал мен каолин құрамындағы –OH топтарының, сондай-ақ олардың арасында сутектік байланыстардың түзілгенін көрсетеді.



Сурет 1. Каолиннің(а) және ПАА/крахмал/каолин (b) негізіндегі гидрогельдің инфрақызыл спектрлері

1660 см$^{-1}$ шамасындағы жұтылу жолағы акриламид құрылымына тән карбонил топтарының (C=O) иілу тербелістерімен байланысты. Бұл акриламидтің полимер матрицасына еніп, кополимерлену реакциясына қатысқанын дәлелдейді. 1500–1400 см$^{-1}$ диапазонында байқалатын жолақтар амидтік топтардың (–$CONH_2$) және көмірсутек фрагменттерінің деформациялық тербелістеріне тән, бұл полимер тізбегінің қалыптасуын растайды.

1000-1100 см$^{-1}$ аймағындағы айқын жұтылу максимумдары Si–O–Si және Si–O–Al байланыстарына сәйкес келеді, бұл композит құрамында каолин минералының бар екенін және оның полимермен химиялық байланыс түзгенін көрсетеді. Сонымен қатар, төменгі толқын саны аймағында (800–500 см$^{-1}$) силикатты құрылымдарға тән тербелістер байқалады.

Жалпы алғанда, инфрақызыл спектр нәтижелері крахмал, акриламид және каолин арасында өзара химиялық әрекеттесу жүріп, кеңістіктік торлы, су сіңіруге қабілетті композиттік құрылым түзілгенін дәлелдейді.

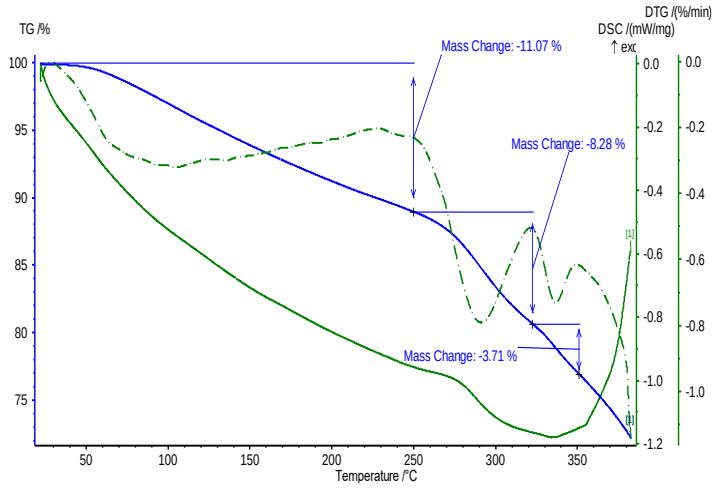
1-суретте б-кескінінде синтезделген композиттік гидрогельдің инфрақызыл спектрі келтірілген, ол материал құрамындағы функционалдық топтардың түрін және олардың өзара химиялық байланысу сипатын анықтауға мүмкіндік береді. 3600-3200 $см^{-1}$ аралығында байқалатын кең жұтылу аймағы гидроксил топтарының созылмалы тербелістеріне сәйкес келеді және крахмал мен каолин құрамындағы –OH топтарының сутектік байланыстар арқылы өзара әрекеттесуін көрсетеді.

2900-2850 $см^{-1}$ диапазонында орналасқан жолақтар алифатты $–CH_2$ және $–CH_3$ топтарының созылу тербелістеріне тән, бұл органикалық полимер тізбегінің қалыптасқанын дәлелдейді. 1660 $см^{-1}$ маңындағы айқын жұтылу максимумы акриламид буынына тән карбонил топтарының (C=O) тербелістерімен байланысты. Ал 1550-1400 $см^{-1}$ аймағындағы жолақтар амидтік $–CONH_2$ топтарының және көмірсутек фрагменттерінің деформациялық тербелістерін сипаттайды.

1250-1000 $см^{-1}$ аралығында байқалатын жұтылу жолақтары C–O, C–N және Si–O байланыстарына сәйкес келеді, бұл полимер матрицасының минералды каолинмен химиялық өзара әрекеттескенін көрсетеді. 900-700 $см^{-1}$ диапазонында тіркелген жолақтар силикатты құрылымдарға тән тербелістермен байланысты.

Осылайша, инфрақызыл спектр деректері крахмал, акриламид және каолин компоненттерінің арасында кополимерлену және айқастырып тігу реакциялары жүргенін, нәтижесінде кеңістіктік торлы және жоғары су сіңіруге қабілетті композиттік гидрогель түзілгенін айқын дәлелдейді

2-суретте синтезделген гидрогель композитінің термиялық қасиеттері термогравиметриялық (TG), дифференциалды термогравиметриялық (DTG) және дифференциалды сканерлеуші калориметрия (DSC) әдістері арқылы зерттелген. TG қисығы үлгінің қыздыру барысында массасының біртіндеп төмендейтінін көрсетеді, бұл материалдың көпсатылы термиялық ыдырауымен байланысты.



Сурет 2. Синтезделген гидрогель композитінің термиялық қасиеттері термогравиметриялық (TG), дифференциалды термогравиметриялық (DTG) және дифференциалды сканерлеуші калориметрия (DSC) әдістері арқылы зерттелген нәтижелері

Температураның 70-250°C аралығында массаның шамамен 11,07% төмендеуі байқалады, бұл кезең физикалық байланысқан судың бөлінуі және төмен молекулалық фрагменттердің жойылуымен түсіндіріледі. 250-320°C аймағында массаның қосымша 8,28% азаюы тіркелген, бұл полимер тізбектерінің термиялық ыдырауының басталуымен және органикалық компоненттердің деструкциясымен байланысты. Үшінші кезеңде, яғни 320-350°C температура аралығында, массаның тағы 3,71% кемуі байқалады, бұл композит құрылымының терең ыдырау процесін көрсетеді.

DTG қисығында массаның ең жоғары ыдырау жылдамдығы Tmax ≈ 290 °C шамасында байқалып, минутына шамамен 0,8% құрайды. DSC деректері эндотермиялық және экзотермиялық әсерлердің полимердің құрылымдық қайта түзілуі мен деструкциясына сәйкес келетінін көрсетеді.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер синтезделген гидрогельдің жеткілікті термиялық тұрақтылыққа ие екенін және минералды компоненттің (каолиннің) полимер матрицасын термиялық тұрғыдан күшейтетінін дәлелдейді.

Қорытынды. Бұл жұмыста гидрогельдерді синтездеу кезінде әртүрлі факторлардың әсері және олардың құрылымының инфрақызыл спектроскопиялық сипаттамалары жан-жақты қарастырылды. Алынған гидрогельдердің ИҚ-спектрлерін талдау нәтижесінде полимерлердің ықтимал құрылымдық формулалары анықталды. Термогравиметриялық талдау гидрогельдердің көпсатылы термиялық ыдырауға ұшырайтынын көрсетті: 70-250°C аралығында массаның шамамен 11,07% төмендеуі, 250-320°C аралығында 8,28% және 320-350°C аралығында 3,71% ыдырауы анықталды. DTG қисығында Tmax ≈ 290 °C мәнінде ыдыраудың ең жоғары жылдамдығы байқалып, бұл композиттің жеткілікті термиялық тұрақтылыққа ие екенін көрсетті. Зерттеу нәтижелері каолиннің полимер матрицасының құрылымдық беріктігін арттырып, гидрогельдердің тұрақтылығын күшейтетінін дәлелдеді.

Синтезделген гидрогельдердің морфологиялық құрылымын сипаттау үшін сканерлеуші электрондық микроскопия әдісі қолданылып, алынған микробейнелер талданды. Нәтижелер гидрогельдердің кеуектілігі мен ісіну қасиеттерін айқын көрсетті. Сонымен қатар, синтезделген сорбенттердің әртүрлі агрессивті ортадағы химиялық тұрақтылығы зерттелді. Табиғи шикізат көздерін, атап айтқанда крахмал мен каолинді пайдалану арқылы суперсіңіргіш композиттер алу тәсілі өндіріс шығындарын азайтып қана қоймай, материалдың экологиялық қауіпсіздігін де қамтамасыз етеді. Алынған нәтижелер синтезделген композиттің кешенді сорбциялық қасиеттері жоғары екенін дәлелдейді.

Әдебиеттер тізімі

1. Ayoub El Idrissi, Channab B.-E., Essamlali Y., Zahouily M. Superabsorbent hydrogels based on natural polysaccharides: Classification, synthesis, physicochemical properties, and agronomic efficacy under abiotic stress conditions: A review // International Journal of Biological Macromolecules. – 2024. – Vol. 258, Part 2. – Art. 128909. – DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.128909.
2. Sroka K., Sroka P. Superabsorbent Hydrogels in the Agriculture and Reclamation of Degraded Areas // Sustainability. – 2024. – Vol. 16, No. 7. – Art. 2945. – DOI: 10.3390/su1607294.
3. Zhu J., Zhang Z., Wen Y., Song X., Tan W.-K., Ong C.-N., Li J. Recent Advances in Superabsorbent Hydrogels Derived from Agro Waste Materials for Sustainable Agriculture: A Review // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2024. – Vol. 72. – DOI: 10.1021/acs.jafc.4c04970.

4. 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. – DOI: 10.31788/RJC.2024.1738844.
5. Azimov A., Iztleuov G., Omirova R., Bolysbek A., Yertayeva Z., Nawi N., Eshburiev T. Formaldehyde-crosslinked GIPANA–polyacrylamide hydrogel improves root-zone soil moisture, infiltration, and crop yield under arid irrigation in the Turkistan Region // Eurasian Journal of Soil Science. – 2026. – Vol. 15. – P. 228-241. – DOI: 10.18393/ejss.1881729.
6. Montesano F., Parente A., Santamaria P., Sannino A., Serio F. Biodegradable Superabsorbent Hydrogel Increases Water Retention Properties of Growing Media and Plant Growth // Agriculture and Agricultural Science Procedia. – 2015. – Vol. 4. – P. 451-458. – DOI: 10.1016/j.aaspro.2015.03.052.
7. Azimov A., Bolysbek A., Iztleuov G., Duissebayev S., Ashirbayev Z. Development of biodegradable hydrogels with adjustable moisture retention capacity for agricultural applications // Scientific Reports. – 2026. – Vol. 16. – DOI: 10.1038/s41598-026-44948-w.
8. Luo Y., Xiong S.-Y., Zhang F., He X.-X., Lu X., Peng R.-T. Preparation of conductive polylactic acid/high density polyethylene/carbon black composites with low percolation threshold by locating the carbon black at the interface of co-continuous blends // Journal of Applied Polymer Science. – 2021. – Vol. 138. – Art. e50291. – DOI: 10.1002/app.50291.
9. Azimov A., Bolysbek A., Iztleuov G., Ashirbayev Z., Amirbekova E., Duissebayev S. Development and Characterization of Novel Biodegradable Hydrogels With Controlled Moisture Release for Smart Packaging Materials // Polymer Engineering & Science. – 2025. – Vol. 65. – P. 5237-5247. – DOI: 10.1002/pen.70053.
10. Musa H., Musa Y., Suleiman M. Synthesis and Characterization of Starch-Graft-Acrylamide Hydrogel for Oral Drug Delivery // Nigerian Journal of Basic and Applied Sciences. – 2020. – Vol. 27. – P. 16-21. – DOI: 10.4314/njbas.v27i2.3.

Зерттеу жұмыстары ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылған BR24993129 «Ылғалды сіңіріп, сақтауға және ылғалдың бөлінуін реттеуге қабілетті биологиялық ыдырайтын ыстыққа сезімтал гидрогельді әзірлеу» жоба аясында орындалды.

Материал редакцияға 28.01.26 түсті, 26.05.26 қабылданды.

А. Азимов[1], Г.М. Изтлеуов[1], А.А. Болысбек[1]

[1]Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ КАОЛИНА, АКРИЛАМИДА И КРАХМАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА

Аннотация. В данной работе были исследованы структурные, морфологические и термические свойства композитных гидрогелей, полученных на основе крахмала, акриламида и каолина. Гидрогели были синтезированы методом свободнорадикальной сополимеризации. Термогравиметрический анализ показал, что гидрогели подвергаются многостадийной термической деградации: в диапазоне 70-250°C наблюдается снижение массы примерно на 11,07%, в диапазоне 250-320°C – на 8,28%, и в диапазоне 320-350°C – на 3,71%. На кривой DTG при значении Tmax ≈ 290 °C зафиксирована максимальная скорость разложения, что свидетельствует о достаточной термической стабильности композита. Результаты исследования показали, что каолин повышает структурную прочность полимерной матрицы и

усиливает стабильность гидрогелей. Полученные результаты подтверждают, что гидрогели обладают высокой водопоглощающей способностью и структурной устойчивостью. Термогравиметрический анализ также подтвердил многостадийный характер термической деградации композитов и повышение термической стабильности за счёт каолина. Полученные гидрогели являются экологически безопасными и структурно стабильными материалами, имеющими большое значение для применения в сельском хозяйстве и охране окружающей среды.

Ключевые слова: гидрогели, крахмал, акриламид, каолин, термогравиметрический анализ, композиционные материалы.

A. Azimov[1], G.M. Iztleuov[1], A.A. Bolysbek[1]

[1]M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF KAOLIN-, ACRYLAMIDE-, AND STARCH-BASED HYDROGELS USING DIFFERENTIAL THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS

Abstract. In this work, the structural, morphological, and thermal properties of composite hydrogels based on starch, acrylamide, and kaolin were investigated. The hydrogels were synthesized via free-radical copolymerization. Thermogravimetric analysis showed that the hydrogels undergo multistage thermal degradation: a mass loss of approximately 11.07% in the range of 70-250°C, 8.28% in the range of 250-320°C, and 3.71% in the range of 320-350°C was observed. The DTG curve exhibited a maximum decomposition rate at Tmax ≈ 290°C, indicating sufficient thermal stability of the composite. The results demonstrated that kaolin enhances the structural strength of the polymer matrix and improves the stability of the hydrogels. The obtained results confirm that the hydrogels possess high water absorption capacity and structural stability. Thermogravimetric analysis also confirmed the multistage nature of thermal degradation of the composites and the enhancement of thermal stability due to kaolin. The synthesized hydrogels are environmentally safe and structurally stable materials with significant potential for applications in agriculture and environmental protection.

Keywords: hydrogels, starch, acrylamide, kaolin, thermogravimetric analysis, composite materials.

ҒТАМР 61.01.77 : 31.15.31

Р.Р. Баданова[1] – *негізгі автор*,
К.И. Баданов[2]

[1]*Техн. ғылым. магистрі, аға оқытушы,* [2]*Техн. ғылым. канд., профессор*
[1]*https://orcid.org/0000-0002-1170-923X* [2]*https://orcid.org/0000-0003-1603-0717*
[1,2]*М.Х.Дулати атындағы Тараз университеті,*
Тараз, Қазақстан,
[2]*kenzebad@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/WJQR5922

АКТИВТЕНДІРІЛГЕН СУ ОРТАСЫНЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУДІҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРІ

Аңдатпа. Мақалада суды магниттік өңдеудің оңтайлы параметрлерін анықтау бойынша экспресс-әдіст ұсынылған. Суды магниттік өңдеу кезінде онда еріген газдар судан шығарылады. Магнитті активтендірілген және бастапқы судың тең көлемдерін бірдей жылдамдықпен қыздыру кезінде арнайы индикатордың бетінде бірдей емес газ жинақталуы және микротасымалдарының өсуі болады. Магнитті активтендірілген және бастапқы судағы белгілі бір уақыт аралығында индикатордың салмағын торсионды таразылардың көмегімен анықтай отырып, газ бөлу кинетикасын зерттеуге және суды магниттік өңдеу тиімділігінің дәрежесін анықтауға болады.

Тірек сөздер: су, магниттік өңдеу, газ бөлу, әсер, индикатор

Баданова, Р.Р. Активтендірілген су ортасының қасиеттерін зерттеудің физика-химиялық әдістері [Мәтін] / Р.Р. Баданова, К.И. Баданов // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №2(92). – Б.427-438. https://doi.org/10.55956/WJQR5922

Кіріспе. Қазіргі уақытта су ортасын магниттік өңдеу пайдаланылатын өнеркәсіп салаларының, технологиялар мен процестердің ауқымды саласы белгілі. Суды магниттік өңдеу қайнауға қарсы күрес құралы ретінде 1945 жылы белгілі болды және бельгиялық инженер Т. Вермайренмен патенттелді. Іс жүзінде суды магниттік өңдеу қайнаудың пайда болуын болдырмау үшін қолданылды. Магниттік өріс су ерітіндісі жүйесіне қалай әсер ететіні әлі күнге дейін зерттеу мәні болып табылады. Өнеркәсіптің әртүрлі салаларында: химия, жеңіл, металлургия, ауыл шаруашылығы мен медицинада су ортасының магниттік белсенділігін табысты қолдану туралы бірқатар жарияланымдар бар. Мақтаны стандартты жуу нәтижелері суды магниттік өңдеу матадағы минералдық ластануларды өзгертетінін және ақ түсті арттыратынын көрсетті. Сондай-ақ тотығу қабілетін жақсартудың кейбір белгілері бар [1].

Магниттік өрістердің метилен көк бояғыш ерітіндісінің фотокаталитикалық тозу сипаттамасына әсері зерттелді. Бояғыш ерітіндісін алдымен динамикалық сұйықтық жүйесі арқылы магниттеді, содан кейін фотокаталитикалық ыдырау процесіне ұшырады. Магниттелмеген ерітіндінің деградация сипаттамалары ұқсас жағдайларда магниттелмеген ерітіндіге қарағанда жоғары. Су және электролит ерітінділері 5 минут бойы әлсіз тұрақты

магнит өрісінің әсеріне ұшырады. Магниттік өрістер электролиттер ерітінділерінің өткізгіштігінің, сондай-ақ ерітінділерден буланатын судың мөлшерінің өзгеруіне әкеледі. Бұл әсерлер ерітінділердегі иондардың табиғатына байланысты және иондардың айналасындағы гидратты қабықтың қалыңдығына және гидратацияның термодинамикалық функцияларына пропорционалды. Магниттік өріс иондардың гидратты қабықтарының өзгеруіне әкелетіні анықталды [2]

[3] зерттеудің негізгі мақсаты суды магниттік өңдеу судың беттік кернеуін азайтады ма, соны анықтау болды. Сынақтар көрсеткендей, судың үстіңгі бетіндегі кернеуі эксперименттік жағдайларға тым сезімтал, оны магниттік өрістің суға әсерін зерттеу үшін қауіпсіз және сенімді индикатор ретінде қарастыруға болады. Сұйық үлгінің беттік керілуінің маңызды өзгерістері бір тәуліктен кейін үлгіде физикалық немесе химиялық өзгерістердің болуының жақсы индикаторы болуы мүмкін екені анықталды.

[4] жұмысында тұрақты магниттік өріс арқылы су өткізу кен орнындағы арагонит/кальцит арақатынасын арттыратыны көрсетілген. Инкубациялық кезең бірнеше сағатты құрайды, ал магниттік әсер туралы жады 200 сағаттан асады.

Текстиль материалдарының өзгеруіне басқа да физикалық әсерлердің әсері белгілі [5]. Әртүрлі полимерленбейтін газдарды пайдалана отырып төмен температуралы плазмамен өңделген жүн талшығы хром бояғышпен боялған. Төмен температуралы плазма газдарының табиғаты хромды бояу әрекетіне әсер ете отырып, маңызды рөл атқарады. Жүн маталарды төмен температуралы плазмамен өңдеу неғұрлым үнемді және экологиялық бояу процестерін әзірлеу мүмкіндігін ашуы мүмкін екендігі көрсетілді.

[6] жұмыста электромагниттік күштерді біріктіру есебінен ауа саңылауы бар мембраналар арқылы дистилляциялау тиімділігін арттыру қарастырылды. Нәтижелері энергия шығындары мен электр энергиясына арналған шығындарды бір мезгілде төмендету кезінде суды тұщыландыру процестерін жеделдету үшін масштабталатын стратегия ретінде мембраналық дистилляция жүйелерінде электромагниттік күштерді қолданудың орындылығын растайды. Бұл әдіс суды тұрақты тазарту технологияларының болашақ әзірлемелері үшін перспективалы бағыт болып табылады.

[7] жұмыста судағы ластаушы заттардың адсорбциясын күшейтетін магниттік өрістің механизмдері мен қолданылуына шолу жүргізілді. Осы шолудың мақсаты - ластаушы заттардың адсорбциясына магниттік өрістің әсері туралы тереңірек түсінік беру және болашақта әзірлеу және қолдану үшін магниттік өрістің адсорбция жүйесін ұтымды жобалау жолымен адсорбцияны жақсартуға жарық түсіру.

[8] жұмыста электр разрядының көмегімен жер үсті суларын залалсыздандыру процесіне әсер ететін негізгі факторларға талдау жүргізілді. Мақалада судың физикалық-химиялық қасиеттерінің оның иондық құрамына және сыртқы термодинамикалық немесе электромагниттік әсерлерге тәуелділігін зерттейтін зерттеулердің нәтижелері қаралады. Магниттік өткізгіштіктің, меншікті электр өткізгіштіктің, диэлектрлік ысыраптардың және судың меншікті жылу сыйымдылығының тәуелділігі талданды және сипатталды. Сыртқы әсерлердің әсерінен олардың өзгеру заңдылықтары бастапқы параметрлер мен температураның ауытқуы (40 °C дейін) және қоса берілген электромагниттік өрістің жиілігі негізінде айқындалды. Ауыспалы электр өрістерінде жиіліктің ұлғаюы электр өткізгіштік коэффициенті,

диэлектрлік өткізгіштік және судың диэлектрлік шығындары арасында тәуелділіктің туындауына әкеледі.

[9]-да технологиялық ерітінді мен ылғалды сіңіретін маталарды бір мезгілде магниттік өңдеуді ұсынады. Бұл ретте абсорбция кезінде тікелей магниттік әсер ету артықшылықты, өйткені ерітіндінің құрылымдық өзгерістері аз дәрежеде ерітіндінің араласуына және т.б. байланысты болады. Магниттік өңдеудің қолданыстағы әсері магниттік өріс кернеуінің шектерімен, орын ауыстыру жылдамдығымен, температурамен және т.б. анықталады. Магниттік өрісте және төмен температурада мақта-маталарды тікелей бояу бояу қарқындылығын 15... 30% -ға арттырады. Магниттік өрістің әсері кезінде кептіру қарқындылығы 1,2 есе жоғары.

[10] авторлары жүнді хром бояғыштарымен бояу кезінде пайдаланылатын техникалық суды электромагниттік өңдеуді зерттеді. Мұндай өңдеу кезінде бояу температурасы түс беріктігін нашарлатпай Цельсий бойынша 85-80 градусқа дейін төмендейді. Магниттік өңдеуден өткен суда жүнді хром бояуларымен бояу температураның төмендеуінен жүн талшықтарының беріктігін жоғалтуды төмендетуге мүмкіндік береді, бояудың беріктігі жақсарады.

[11] жұмыста тікелей, реактивті бояғыштармен бояу кезінде мақта матасын және бояғыш ерітіндісін магниттік өңдеу зерттелді. Химиялық белсенді бояғыштарды пайдаланған кезде бояудың шығымы 10-27% -ға ұлғаяды. Күкіртті бояғыштарды пайдаланғанда бояу температурасын 80-95-тен 40-45 °C дейін төмендетуге болады. Зауыттағы өнеркәсіптік сынақтар да едәуір экономикалық пайданы көрсетеді.

[12] авторлары талдаудың спектрофотометриялық, электрохимиялық, вискозиметриялық және хроматографиялық әдістерінің көмегімен химиялық белсенді хлортриазин бояғыштарымен мақта маталарын бояу кезінде тұрақты магниттік өрістердің әсерін зерттеді. Магниттік өңдеу бояғыштың сорбциясын 5-26% -ға және бекітуді 2-10% -ға арттырады. Бояудың біркелкі болмауы 3-5 есе азаяды.

[13-15] әдебиетте су ортасының магниттік белсенділігінің олардың бетіндегі кернеуіне әсері байқалған. Жүн материалдарын жуу кезінде жүннің сулануын арттыра отырып, су ерітінділерінің беттік керілуін төмендететін әртүрлі ББЗ пайдаланылады. Осыған байланысты магнитті белсендірілген су ортасын қолдану есебінен жүн материалдарын жуу процесін жандандыру мүмкіндігін зерделеу қызығушылық тудырады. Жуу процесі пайдаланылатын ББЗ мицелла түзілуінің (МҚКК) критериялық концентрациясымен байланысты екені белгілі. Мицелла құру критериялық концентрациясы неғұрлым төмен болса, ББЗ-ның жуу қабілеті соғұрлым жоғары болады. Осы мақсатта магнитті активтендірілген судың ОП-10 ерітінділерінің мицелла құру критериялық концентрациясының (МҚКК) әсерін зерттеді [16].

Алайда, осы уақытқа дейін магниттік белсенділік әсерінің суды өңдеуге арналған магниттік аппараттардың немесе қолданудың әртүрлі салалары үшін технологиялық ерітіндінің үлгісі мен конструкциясына тәуелділігін жүйелі зерделеу жүргізілмеген. Магниттік өрістердің суға активтендіретін әсерінің тетігі де анық емес.

Әртүрлі технологиялық процестерде суды магниттік өңдеуді кеңінен енгізудің негізгі тежеуші факторы магниттік өрістің суға әсерін индикациялаудың әмбебап сенімді әдісінің болмауы болып табылады. Суды магниттік өңдеудің тиімділігі магниттік өрістегі судың жылдамдығына; суды магниттік өріспен өңдеу ұзақтығына; судың температурасына; суда еріген

заттардың шоғырлануына; қысымға; магнит өрісінің кернеулігіне; магниттік өріс градиентіне; магниттік аппараттардың конструктивтік ерекшеліктеріне байланысты [1].

Магниттік өрістің суға әсерін индикациялау суды магниттік өңдеу процесінің ажырамас бөлігін құрайды, өйткені ол магниттік аппараттар жұмысының оңтайлы режимін таңдауға ғана емес, сондай-ақ жұмыс процесінде қажетті түзетулермен ағымдағы бақылауды жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Практикада қолданылатын индикациялау тәсілдері екі топқа бөлінуі мүмкін:

1) жанама көрсеткіштерге негізделген тәсілдер;

2) жақсарту талап етілетін технологиялық процестердің сипаттамаларын тікелей бағалау тәсілдері.

Суда газдың қосылуының болуы көп жағдайда бірқатар физика-химиялық процестерге әсер етеді. Барлық әдістермен барлық ерітілген газ анықталады, бұл ретте оның ерітіндіде болу нысандары ескерілмейді. Газ суда еріген күйінде де, дисперсті күйінде де, микротасымалдар түрінде болуы мүмкін. Құрылымның тұтастығы бұзылған сұйықтық ішіндегі фазалардың бөліну бетінің болуы газсыздануға, ерітінділердің қайнауына, кавитацияға және басқа да процестерге әсер етуі мүмкін. Көмірқышқыл молекулаларының ішінара диссоциациясы CO2 еруі мен бөліну кинетикасын бақылауға мүмкіндік береді, бұл суда бос газдың пайда болу мүмкіндігін және болуын тексеру үшін де, сондай-ақ физикалық өрістердің ерігіштікке әсерін бағалау үшін де өте маңызды.

Суда еріген газбен қатар көбік түріндегі еркін газ үнемі болады. Бұдан басқа, судың еріген газдармен айтарлықтай тұрақты қанығуы болуы мүмкін және қанығу дәрежесі судың құрамына да, беттік-белсенді заттардың болуына да байланысты болады. Су еріген газ бойынша метастабильді күйде болуы мүмкін, оны алу сыртқы әсерлер, оның ішінде магниттік өрістер күрт өзгерген кезде мүмкін болады.

Табиғи су күрделі сулы-тұзды жүйе болып табылады. Нақты жағдайларда оның құрамында көп мөлшерде шағын бөлшектер, газ микро ұнтақтары, органикалық және бейорганикалық заттардың иондары, кешенді қосылыстар, молекулалық ерітілген газ және т.б. бар. Суда үнемі болатын микротасымалдар түріндегі бос газ магниттік әсерлерге сезімтал болып табылады. Осы әсердің нәтижесінде Лоренц күштерінің арқасында әртүрлі жиіліктегі гидродинамикалық тербелістердің пайда болу мүмкіндігі жоққа шығарылмайды [17]. Осының нәтижесінде газ микро-түйіндерінің көлемінің ұлғаюы байқалуы мүмкін. Ерітілген газдың дисперсті жағдайға өтуі кальций карбонатының қатты фазасын түзу арқылы көмірқышқыл тепе-теңдігінің ығысуын тудыруы мүмкін. Магниттік өрістің судағы газдың ерігіштігі мен диффузиясына әсері газсыздандыру процесіне әсер етуі тиіс.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Жұмыста су ортасы бар шығыс сыйымдылығын, орталықтан тепкіш сорғыны, электромагниттік (магниттік) аппаратты қамтитын суды электромагниттік өңдеуге арналған зертханалық қондырғы пайдаланылған. Шығын сыйымдылығынан суды магниттік аппарат арқылы орталықтан тепкіш сорғымен айдайды. Су ортасының ағу жылдамдығы (v) мынадай формула бойынша есептелген:

$$U = \frac{V}{F \cdot \tau}, м/с \qquad (1)$$

мұндағы: V – өлшеу уақытында өлшеу сыйымдылығын толтырған су көлемі, $м^3$; F – аппарат арнасының ортасындағы жұмыс саңылауының көлденең қимасының ауданы, $м^2$; τ – өлшеу сыйымдылығын толтыру уақыты, с.

Магнитті өткізгіште судың ағу жылдамдығы зертханалық автотрансформатор арқылы орталықтан тепкіш сорғының электр орамаларындағы кернеудің өзгеруімен реттелді. Электромагниттік аппарат үшін судың қозғалыс жылдамдығы 0,5-тен 10 м/с дейінгі шекте өзгертілді. Аппараттардағы су жылдамдығын түрлендіру диапазоны сорғының конструкциясы мен қуаттылығына негізделген. Магниттік өрісте судың болу уақытын ұлғайту үшін өңдеу айналым режимінде жүргізілді. Өңделетін судың температурасы 18-20°С.

Май, өсімдік және минералдық ластанулары бар жуылмаған жүнді жуу 40°С-да мынадай ерітінділерде жүргізілді:

анионды ББЗ - НБ сулағыш;

ионді емес ББЗ - ОП-10

олардың қоспалары – НБ сулағыш + ОП-10

Жуу ерітінділері су құбыры суында дайындалған. Жуудың сапасы майдың қалдық құрамы және алынған ластанулардың жалпы саны бойынша бағаланды. Майлы заттардың қалдық құрамы мынадай формула бойынша анықталды:

$$У_1 = \frac{A - B}{A} \cdot 100\% \qquad (2)$$

мұндағы: $У_1$ – майлы заттардың қалдық құрамы, %; А және В – экстрагирлеуге дейінгі және кейінгі үлгінің салмағы, тиісінше.

Экстрагирлеуді Сокслет аппаратында стандартты әдістеме бойынша жүргізді.

Жойылған ластанулардың санын мына формула бойынша анықтады:

$$У_2 = A - B \qquad (3)$$

мұнда, А және В үлгісінің жуылғанға дейінгі және жуылғаннан кейінгі салмағы, тиісінше, г.

Матаны жуудың сапасын анықтау үшін бояу кинетикасы бойынша жуылған мата үлгілері мынадай рецепт бойынша боялған.

Кесте 1

Мата үлгілерін бояу рецепті (% мата салмағының)

Бояу ваннасының компоненттері мен көрсеткіштері	Мата салмағынан шығыс % және мәні
антрахинонды қышқылды Н2С жасыл боғыш	2,0
натрий сульфаты	10,0
30%-ды сірке қышқылы	33
ванна модулі	100
бояу температурасы	80°С

Матамен сіңірілген боғыштың мөлшерін 10, 20, 40, 80, 160, 320 минуттан кейін анықтады. Үлгілерді тұрақты салмаққа дейін жуып, ауада кептіреді. Сіңдірілген боғыштың мөлшері салмағы 0,1 г боялған үлгілерден

дайындалған, 30 мл 3% натрий гидрототығы ерітіндісінде 60°С температурада ерітілген сілтілі ерітінділердің оптикалық тығыздығы бойынша бағаланды. Бояғыш ерітінділер су ортасын магниттік өңдеуден кейін 20 минуттан соң дайындалды. Бояудың бастапқы температурасы 40°С, ерітіндінің температурасы 15 минут ішінде 60-65 °С дейін көтеріліп, 30 минут бойы боялды, содан кейін үлгілер салқын сумен жуылды. Магниттік өріс пен бастапқы өңделмеген су ортасындағы бояғыштардың сорбциясын КФК-3 аспабындағы ерітіндінің оптикалық тығыздығы бойынша бағалады. Бояғышты ілу – үлгінің массасының 1%, ванна модулі 100, үлгінің массасы 1 г. Эксперимент қатесі 2%-ды құрады.

Жұмыста магниттік өңделген және бастапқы судан газ бөліну кинетикасын анықтау үшін қондырғы пайдаланылды.

Осы қондырғыдағы эксперименттер былайша жүргізілді: термостатталатын стақанға зерттелетін сұйықтықтың белгілі бір көлемі (200 мл) құйылды. Содан кейін ауа көпіршіктерінен бос индикатор-датчикті енгізіп, оны капрон жіппен индикатор-датчиктің ыдыстың түбіне тиіп кетпейтіндей етіп торсионды таразылармен біріктірді. Оның сұйықтықтағы бастапқы массасын өлшедік. содан кейін есептеу уақытын қосып, термостатты 50 °С дейін тұрақты жылдамдықпен қыздырдық. Индикатордың салмағы мен судың температурасын термометрмен 2 минут аралықпен 14 минут бойы мерзімді өлшеуді жүргіздік. Бақылау суы ретінде магниттік өңдеуге арналған, бірақ өңдеудің гидродинамикалық жағдайлары сақталған кезде магниттік өңдеуге ұшырамаған судың сол партиясын пайдаланған. Тәжірибе операцияларының реттілігі бақылау үшін де, магнитті белсендірілген су үшін де бірдей. Бақылау және магнитті активтендірілген су ортасындағы тең уақыт аралығынан кейін газ бөлу процесінде индикатор массасының айырмашылығы бойынша активтендірілген өңдеу дәрежесі айқындалды. Магниттік белсенділік дәрежесі δ мына формула бойынша есептелген:

$$\delta = \frac{\text{Рмаг} - \text{Рконт}}{\text{Рмаг}} \cdot 100\% \qquad (4)$$

мұндағы: $P_{маг}$ и $P_{конт}$ – магнитті активтендірілген және бақылау су орталарындағы индикатор-датчиктің массасы, мг. (сұйықтықтағы индикатор-датчиктің массасы (бастапқы) таразыны өлшеу шегінен аспауы тиіс).

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Бұл жұмыста су ортасының магниттік белсенділігін бағалау тәсілі ретінде біз суды магниттік өңдеудің ОП-10 ерітіндісінің мицелла түзілуінің критериялық концентрациясына әсерін зерттедік.

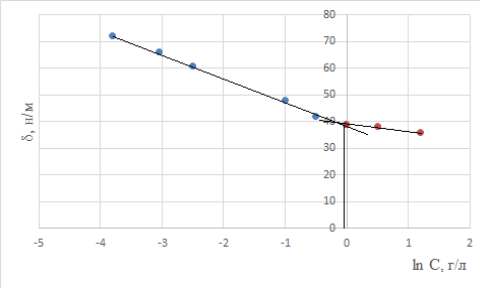
Салыстыру үшін дистилляцияланған, су құбыры және магнитті активтендірілген су құбыры суындағы ОП-10 ерітінділері дайындалды. Бұл ретте су құбыры суының сол партиясы пайдаланылды, бірақ магниттік өріс ажыратылған кезде өңделді. Магниттік белсендіруді магниттік өрістің кернеуі Н = 158 кА/м және су ағысының жылдамдығы v = 8,6 м/с болған кезде АМ-5 электромагниттік аппаратында жүргізді. ОП-10 ерітінділерінің мицелла құру критериялық концентрациясын (МҚКК) ерітінділердің беттік керілуінің шоғырлануына байланысты анықталды (τ, н/м). Ерітіндінің беттік керілуін сталагмометрмен тамшыларды есептеу әдісімен анықтаған. Тазартылған судағы ББЗ ерітінділерінің үстіңгі жағының тартылуы мынадай формула бойынша есептелген:

$$\sigma_x = \frac{\sigma_{H_2O} \cdot n_{H_2O} \cdot d_x}{n_x \cdot d_{H_2O}} \tag{5}$$

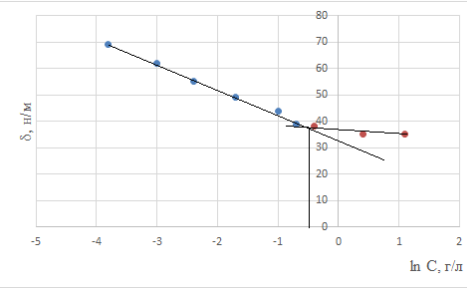
мұнда: σ_{H_2O}, d_{H_2O} – тәжірибе температурасында дистилляцияланған суға арналған кестелік деректер. Түрлендірілген судағы ББЗ ерітінділерінің σ_x мәндері мынадай формула бойынша есептелген:

$$\sigma_{x_{модиф}} = \frac{\sigma_{H_2O_{модиф}} \cdot n_{H_2O} \cdot d_{x_{модиф.}}}{n_x \cdot d_{H_2O_{модиф.}}} \tag{6}$$

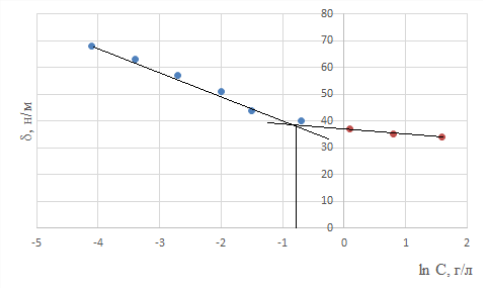
Ғылыми нәтижелерді талқылау.



1



2



3

Сурет 1. Дистилляцияланған суда (1), бастапқы су құбыры суында (2), магнитті активтендірілген су құбыры суында (3) ОП-10 ерітінділерінің беттік керілуінің концентрациялық тәуелділігі

1-суреттерден келіп шығатыны, магнитті активтендірілген су құбыры суындағы мицелла құру критериялық концентрациясы (МҚКК) өңделмеген су құбыры суына және тазартылған суға қарағанда төмен. Алынған деректер (магнитті активтендірілген су құбыры суында МҚКК -0,8 г/л, өңделмеген -0,5 г/л, тазартылған -0,1 г/л) магнитті активтендірілген суда мицелла түзілуінің күшеюін куәландырады.

Магнитті активтендірілген суда мицелланудың күшеюі жүн материалдарын майлы ластанудан тазарту кезінде жуу ерітінділерінің әсерінің тиімділігін арттыруы мүмкін.

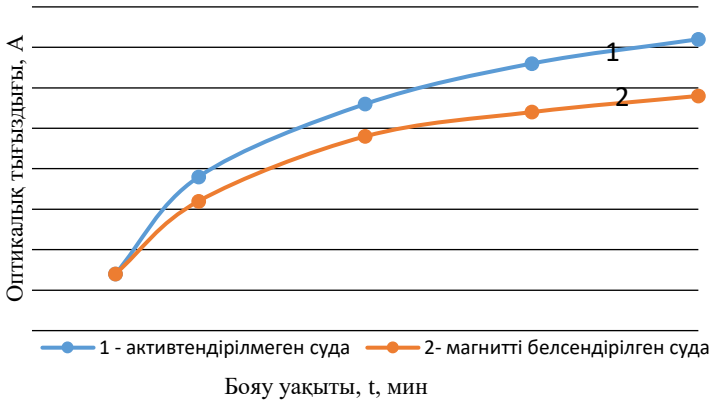
Біз жүн материалдарын магнитті белсендірілген суда жуу процесін зерттедік. Нәтижелері 1-кестеде берілген.

Кесте 2

Майдың қалдық құрамы бойынша және алынған ластанулардың жалпы саны бойынша жуу сапасы

ББЗ атауы	Ерітінді концентрациясы, г/л	Жуу уақыты, мин.	Жойылған ластанулар саны, г.	Майлы заттардың қалдық құрамы, г.
ОП-10 (рецепт 1)	2,0	1	0,7007	0,0792
		2	0,8243	0,0806
		4	0,8574	0,0775
		8	0,8422	0,0731
		16	0,8442	0,0782
		32	0,8384	0,0708
НБ сулағыш (рецепт 2)	2,0	1	0,6988	0,1721
		2	0,7961	0,1414
		4	0,8517	0,1018
		8	0,7427	-
		16	0,8738	-
		32	0,8705	-
Қоспа: ОП-10 + НБ сулағыш (1:1)	1,0	1	0,8348	0,0875
		2	0,8191	0,0734
		4	0,9071	0,0650
		8	0,9277	0,0450
		16	0,8979	0,0253
		32	0,9050	0,0492

Магнитті активтендірілген су құбыры суының жүнді сорбциялық қасиеттері бойынша жүнді қышқыл жасыл антрахинон Н2С бояумен жуу нәтижелеріне әсерін салыстыру нәтижелері 4-суретте келтірілген.



1 – активтендірілмеген суда жуылған үлгілер; 2 – магнитті белсендірілген суда жуылған үлгілер.

Сурет 1. Жуылған жүн матаның еріген үлгілерінің оптикалық тығыздығының (А) бояу уақытына тәуелділігі

Активтендірілмеген су құбыры суында жуылған талшықтағы сіңірілген бояғыш мөлшері (2-сурет 1-қисық) магнитті активтендірілген су құбыры

суында жуылғаннан жоғары. Егер жүнді бояу кезінде бояғыш үшін негізгі кедергі эпикутикула болып табылатынын ескерсек, онда активтендірілмеген суда жүн бетінің, мүмкін, талшықтың тереңірек қабаттарының бұзылуы көбінесе активтендірілмеген су құбыры суындағы оттегінің көп болуынан болады деп болжауға болады. Эпикутикула судағы оттегінің әсерінен зақымданған кезде бояғыш талшықпен жеңіл сіңіріледі және оның талшықтағы мөлшері одан көп болады. Судағы оттегі аз болғандықтан магнитті активтендірілген су құбыры суында жуған кезде жүн талшығының беті аз дәрежеде зақымданады және бояғыш талшықпен азырақ сіңіріледі.

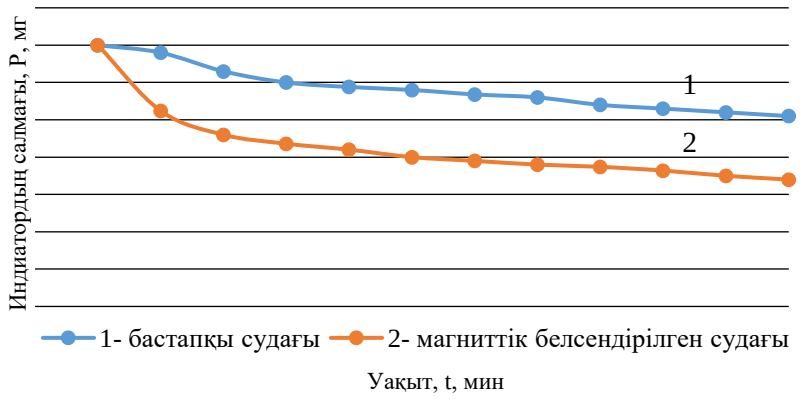
Осы болжамды растау үшін біз магнитті активтендірілген су құбыры суының жуылған жүнді суландыруға әсерін қосымша зерттедік. Ол үшін жуылған матадан диаметрі 20 мм дискілерді кесіп алып, ОП-10 ерітіндісінің бетіне (0,2 г/л) орналастырып, үлгілерді батыру уақытын өлшеді. Тәжірибелер бес рет қайталанып жүргізілді. Магнитті активтендірілген су құбыры суындағы ерітінділерде жуылған үлгілерді батыру уақыты орта есеппен 25 с (ластануды орташа алып тастағанда 1,20 г), ал активтендірілмеген суда жуылған үлгілерді 10 с (ластануды орташа алып тастағанда 0,82 г) құрады. Кератин эпикутикуласының гидрофобтық қасиеттері бар екені белгілі. Зақымданған сайын талшық нашар суланады. Сондықтан үлгіні магнитті активтендірілген суда ББЗ ерітіндісіне батыру уақыты жоғары. Магнитті активтендірілген су құбыры суында жуылған үлгілер үшін алғашқы үлгілерді тазалау дәрежесі жоғары болғанына қарамастан, активтендірілмеген суда жуылған үлгілермен салыстырғанда батыру уақыты екі есе көп. Демек, магнитті белсендірілген суда жуған кезде жүн талшығының беті аз зақымданады. Осылайша, жүн материалдарын магнитті активтендірілген суда жуу кезінде қолданыстағы режим бойынша жууға қарағанда көп ластану жойылатыны және жүн талшығы өзінің табиғи қасиеттерін жақсы сақтайтыны анықталды.

Біз суды магниттік өңдеудің оңтайлы параметрлерін анықтау және магниттік аппараттарды баптау бойынша жаңа экспресс-әдісті әзірледік. Экспресс-әдіс оларды бірдей жағдайларда қыздыру кезінде бақылау және магнитті белсендірілген судың тең көлемінен газ бөліну жылдамдығын салыстырмалы бағалауға негізделген. Ұсынылған экспресс-әдіс суды магниттік өңдеудің оңтайлы параметрлерін салыстырмалы түрде жылдам таңдауға және оның тиімділігін мерзімді бақылауға мүмкіндік береді. Бұдан басқа, ол күрделі жабдықты талап етпейді, пайдалануға оңай. Магниттік өрістің су ортасының газ бөлінуіне әсерін зерттеу үшін зертханалық жағдайларда су құбыры суынан газ бөліну кинетикасы 14 минут ішінде (2 минут аралықпен) оны 50°C дейін тұрақты жылдамдықпен қыздыру процесінде зерттелді. Газ бөліну кинетикасын зерттеу үшін су құбыры суын таңдау дистилляцияланған немесе модельді суға қарағанда газ қоспаларының көп болуына және әртүрлілігіне байланысты.

Бастапқы магнитті белсендірілген судың газ бөліну кинетикасы бойынша алынған деректер графикалық түрде қаралуы мүмкін. Бұл ретте суды магниттік өңдеудің тиімділігі кез келген уақытта бағалануы мүмкін. Дистилляцияланған суда, бастапқы су құбыры суында және магнитті активтендірілген су құбыры суында ОП-10 ерітінділерінің беттік керілуінің өзгерістері 3-суретте келтірілген.

Индикация арнайы индикатор салмағының өзгеруін тіркеу жолымен торсиялық таразылардың көмегімен жүзеге асырылады. Арнайы индикатор ретінде пайдаланылатын дене қуыс, конус тәрізді, көп секциялы болуы тиіс.

Тіркеуші құрылғыны артық жүктемеге ұшырамау үшін сұйықтықтағы индикатордың салмағы таразылардың өлшеу шегінен аспауы тиіс.



Сурет 3. Индикатордың бастапқы (1) және магниттік белсендірілген (2) судағы салмағының өзгеру кинетикасы

Қорытынды. Біз суды магниттік өңдеудің оңтайлы параметрлерін анықтау бойынша жаңа экспресс-әдісті әзірледік. Белгілі бір жағдайларда магниттік өрістің әсерімен суды магниттік өңдеу кезінде онда еріген газдарды судан жоюға әкелетін жұқа әсерлер жүзеге асырылуы мүмкін. Газ көпіршіктері ең алдымен бөлшектердің бетінен бөлінеді. Магнитті активтендірілген және бастапқы судың тең көлемдерін бірдей жылдамдықпен қыздыру кезінде арнайы индикатордың бетінде бірдей емес газ жинақталуы және микротасымалдарының өсуі болады. Магнитті активтендірілген және бастапқы судағы белгілі бір уақыт аралығында индикатордың салмағын торсиялық таразылардың көмегімен анықтай отырып, газ бөлу кинетикасын зерттеуге және суды магниттік өңдеу тиімділігінің дәрежесін анықтауға болады.

Әдебиеттер тізімі

1. Lipus L.C., Ačko B., Neral B. Influence of magnetic water treatment on fabrics' characteristics // Journal of Cleaner Production. – 2013. – Vol. 52. – P. 374-379.
2. Wanpasuk S., Sronsri C., U-yen K. Effect of magnetic fields on the efficiency of the photocatalytic degradation of methylene blue in a dynamic fluid system // Journal of Cleaner Production. – 2021. – Vol. 325. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129284.
3. Amiri M.C., Dadkhah A.A. On reduction in the surface tension of water due to magnetic treatment // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2006. – Vol. 278.
4. Coey J.M.D., Cass S. Magnetic water treatment // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2000. – Vol. 209. – Issues 1–3. – P. 71-74.
5. Kan C.W., Chan K., Miao M.H. The effect of low-temperature plasma on the chrome dyeing of wool fibre // Journal of Materials Processing Technology. – 1998. – Vol. 82. – Issues 1–3. – P. 122-126.
6. Ali K., Ali H., Mohamed I. Enhancing air gap membrane distillation performance through electromagnetic force integration // Separation and Purification Technology. – 2025. – Vol. 358.
7. Ding N., Wang Y., Shen Z., Liu H., Li Y., Sun Y. Mechanisms and application of magnetic field enhancing pollutant adsorption in water: A review // Separation and Purification Technology. – 2025. – Vol. 356.

8. Abdykadyrov A., Kalandarov P., Marxuly S., Khabay A., Sharipova G., Abulkhanova M., Zhanbayeva L. Analysis of the main factors influencing the process of disinfecting surface water through electric discharge // Water Conservation and Management. – 2025. – Vol. 9. – No. 1. – P. 01-06.
9. Vadim F. Magnetic-laser activator // Textile Science '91. – 2001. – Vol. 2. – P. 557-558.
10. Badanov K.I., Novoradovskaya T.S., Chesnokova V.I., Meerson S.I., Novoradovskii A.G. Use of water activated with electromagnetic fields for dyeing wool with chrome dyes. – 1989.
11. Koksharov S.A., Ivanov V.V., Simagina T.V. Magnetic activation during the impregnation of cotton fabrics with dye solution // Tekstil'naya Promyshlennost'. – 1990. – Vol. 50. – No. 7. – P. 64.
12. Koksharov S.A., Konstantinov O.I., Moryganov A.P., Mel'nikov B.N. Effect of magnetic fields on the composition of reactive dye solutions // Zhurnal Prikladnoi Khimii. – 1990. – Vol. 63. – No. 3. – P. 565-571.
13. Badanov K.I., Badanova A.K., Badanova R.R., Kasymova G., Tulendieva G.O. Activation of technological processes for the preparation of cotton fabrics // Mechanics and Technology. – 2013. – No. 2(40). – P. 30-35.
14. Badanova A.K., Badanova R.R., Badanov K.I. Changes of superficial properties of cotton cellulose in processes of preparation and finishing of textile materials // American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture. – 2014. – Vol. 8. – No. 9. – P. 1-6.
15. Badanov K.I., Badanova R.R., Badanov A.K., Matniyazova G.K., Nurlybayeva A.N., Seitbekova G.A., Kalmakhanova M.S., Madimarova G.B. Physico-chemical patterns of the wool washing process // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2020. – No. 2(386). – P. 106-110.
16. Badanov K.I., Badanova R.R., Badanov I.K., Makhanbetaliyeva K.T., Kasymova G.A., Tulendieva G.O. Change in the critical concentration of micelle formation during washing of woolen fabrics // Mechanics & Technologies. – 2023. – No. 2(80). – P. 87–98. DOI: 10.55956/SPMO9915.
17. Badanov K.I., Badanova A.K., Badanova R.R., Tishkov A.V. A model device for activating diffusion-sorption processes of dyeing wool fibers // Bulletin of the Almaty Technological University. – 2017. – No. 1(114). – P. 32-38.

Материал редакцияға 16.04.26 түсті, 22.06.26 қабылданды.

Р.Р. Баданова[1], К.И. Баданов[1]

[1]Таразский университет им. М. Х. Дулати, Тараз, Казахстан

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ АКТИВИРОВАННЫХ ВОДНЫХ СРЕД

Аннотация. В работе предлагается экспресс-метод по определению оптимальных параметров магнитной обработки воды. При магнитной обработке воды происходит удаление из воды растворенных в ней газов. При нагревании с одинаковой скоростью равных объемов магнитноактивированной и исходной воды на поверхности специального индикатора происходит неодинаковое из-за различной кинетики газовыделения накопление и рост микропузырьков газа. Определяя с помощью торсионных весов вес индикатора через определенные промежутки времени в магнитноактививрованной и исходной воде можно исследовать кинетику газовыделения и определять степень эффективности магнитной обработки воды.

Ключевые слова: вода, магнитная обработка, газовыделение, эффект, индикатор

R.R. Badanova[1], K.I. Badanov[1]

[1]M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan

PHYSICOCHEMICAL METHODS FOR STUDYING THE PROPERTIES OF ACTIVATED AQUEOUS MEDIA

Abstract. A rapid method for determining the optimal parameters of magnetic water treatment is proposed. During magnetic treatment of water, gases dissolved in it are removed from the water. When heating at the same rate of equal volumes of magnetically activated and source water on the surface of a special indicator, gas microbubbles accumulate and grow differently due to different gas release kinetics. By determining the weight of the indicator at certain intervals in the magnetically activated and source water using torsion scales, it is possible to study the kinetics of gas emission and determine the degree of efficiency of magnetic treatment of water.

Keywords: water, magnetic treatment, gas release, effect, indicator.

МРНТИ 61.29.39

И. Казаринов ©

Д-р хим. наук
https://orcid.org/0000-0002-4858-9614
Саратовский государственный университет,
Саратов, Россия
i.kazarinov@internet.ru

https://doi.org/10.55956/MWGN3252

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МЕХАНИЗМЫ АДСОРБЦИИ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ БЕНТОНИТА И УГЛЕРОДА, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОПИЛОК

Аннотация. Композиты на основе бентонита и углеродных материалов, полученных из древесных опилок, представляют собой перспективный класс адсорбентов для очистки воды благодаря сочетанию высокой удельной поверхности, развитой пористой структуры и значительной катионообменной емкости. В данной работе рассмотрены современные подходы к получению бентонит-углеродных композитов, включая пиролиз древесных отходов, процессы карбонизации и активации, а также методы введения бентонита в углеродную матрицу. Проанализированы основные физико-химические характеристики материалов, включая пористую структуру, функциональные группы поверхности, фазовый состав и морфологические особенности. Особое внимание уделено влиянию состава композитов на их адсорбционные свойства и механизмам взаимодействия с загрязняющими веществами. Показано, что эффективность удаления тяжелых металлов, органических красителей и фармацевтических соединений обусловлена сочетанием механизмов ионного обмена, электростатического взаимодействия, образования водородных связей, π–π-взаимодействий и физической адсорбции в порах материала. Рассмотрены основные факторы, влияющие на процесс адсорбции, включая pH среды, температуру, концентрацию загрязнителей и структурные характеристики адсорбента. Проведенный анализ показывает, что композиты на основе бентонита и углерода из древесных опилок обладают значительным потенциалом для создания эффективных, доступных и экологически безопасных технологий очистки водных ресурсов.

Ключевые слова: бентонит, древесные опилки, биоуголь, композиты, адсорбция, очистка воды, тяжелые металлы, красители, фармацевтические загрязнители.

Казаринов, И. Физико-химические свойства и механизмы адсорбции композитов на основе бентонита и углерода, полученного из древесных опилок // Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №2(92). – С.439-447. https://doi.org/10.55956/MWGN3252

Введение. Загрязнение водных ресурсов тяжелыми металлами, органическими красителями, фармацевтическими препаратами и другими загрязнителями является одной из наиболее серьезных экологических проблем современности. Увеличение объемов промышленного производства,

урбанизация и интенсивное сельское хозяйство приводят к постоянному поступлению загрязняющих веществ в поверхностные и подземные воды, что негативно влияет на состояние экосистем и здоровье населения [1,2]. В связи с этим особое внимание уделяется разработке эффективных, экологически безопасных и экономически доступных материалов для очистки воды.

Среди существующих технологий водоочистки адсорбция считается одним из наиболее перспективных методов благодаря высокой эффективности удаления широкого спектра загрязнителей, простоте эксплуатации и возможности регенерации адсорбентов [3]. В последние годы значительный интерес исследователей вызывают композитные материалы, сочетающие преимущества природных минералов и углеродных сорбентов, полученных из возобновляемого сырья [4].

Бентонит является одним из наиболее распространенных природных алюмосиликатных минералов, обладающих высокой катионообменной емкостью, развитой слоистой структурой и хорошей химической стабильностью [5]. Однако его сорбционная способность по отношению к некоторым органическим соединениям ограничена сравнительно небольшой удельной поверхностью и недостаточным количеством активных центров. Для повышения эффективности адсорбции бентонит часто комбинируют с углеродными материалами, обладающими развитой пористой структурой и высокой удельной поверхностью [6].

Особый интерес представляют углеродные материалы, полученные из древесных опилок — доступного и дешевого отхода деревообрабатывающей промышленности. Термическая обработка и активация древесных отходов позволяют получать углеродистые материалы с развитой системой микро- и мезопор, а также большим количеством функциональных групп на поверхности [7]. Использование древесных опилок в качестве сырья соответствует принципам циркулярной экономики и способствует рациональной переработке биомассы, снижая антропогенную нагрузку на окружающую среду [8].

Комбинирование бентонита и углерода, полученного из древесных опилок, позволяет создавать композитные материалы с улучшенными физико-химическими характеристиками. Благодаря синергетическому эффекту таких компонентов достигается увеличение удельной поверхности, оптимизация пористой структуры, повышение механической прочности и адсорбционной активности по отношению к различным загрязняющим веществам [9]. Механизмы адсорбции в данных композитах включают электростатическое взаимодействие, ионный обмен, водородные связи, π–π-взаимодействия, а также заполнение микро- и мезопор адсорбируемыми молекулами [10].

Таким образом, композиты на основе бентонита и углерода, полученного из древесных опилок, представляют собой перспективный класс функциональных адсорбентов для очистки воды от различных загрязнителей. Исследование их физико-химических свойств и механизмов адсорбции имеет важное значение для разработки новых эффективных и устойчивых технологий водоочистки [9,10].

2. Физико-химические свойства композитов на основе бентонита и углерода из древесных опилок

2.1 Получение композитов

Композиты на основе бентонита и углеродных материалов, полученных из древесных опилок, привлекают значительное внимание благодаря доступности сырья, низкой стоимости и высоким адсорбционным

характеристикам. Основным этапом получения углеродной составляющей является термическое разложение древесных опилок в условиях ограниченного доступа кислорода. В процессе пиролиза происходит удаление летучих компонентов и формирование пористой углеродной структуры [1,2].

Для повышения удельной поверхности и объема пор часто применяют физическую или химическую активацию. Физическая активация обычно проводится с использованием водяного пара или диоксида углерода при высоких температурах, тогда как химическая активация осуществляется с помощью KOH, H_3PO_4, $ZnCl_2$ или других активирующих агентов [3,4]. Химическая активация способствует формированию развитой микропористой структуры и увеличению числа поверхностных функциональных групп.

Бентонит вводят в углеродную матрицу различными способами, включая механическое смешивание, совместную карбонизацию, пропитку углеродного материала суспензией глины и методы осаждения из растворов [5,6]. Выбор метода синтеза оказывает существенное влияние на распределение минеральной и углеродной фаз, а также на последующие адсорбционные свойства композитов.

2.2 Структурные и поверхностные характеристики

Физико-химические свойства композитов определяются сочетанием характеристик бентонита и углеродной матрицы. Одним из важнейших параметров является удельная поверхность, которая определяется методом Брунауэра–Эммета–Теллера (BET). Согласно литературным данным, удельная поверхность таких материалов может варьировать от нескольких десятков до нескольких сотен квадратных метров на грамм в зависимости от условий активации и состава композита [3,7].

Исследования методом инфракрасной спектроскопии (FTIR) показывают наличие гидроксильных, карбоксильных, карбонильных и силикатных групп, которые участвуют в связывании загрязняющих веществ [8]. Рентгенофазовый анализ (XRD) позволяет идентифицировать основные минералогические компоненты бентонита, включая монтмориллонит, кварц и полевые шпаты, а также оценить степень аморфизации углеродной фазы после карбонизации [5,9].

Морфология поверхности, исследуемая методом сканирующей электронной микроскопии (SEM), демонстрирует развитую пористую структуру углеродного материала и относительно равномерное распределение частиц бентонита по поверхности композита. Такая структура способствует повышению доступности активных центров адсорбции и улучшению массопереноса загрязняющих веществ [10].

2.3 Влияние состава на свойства композитов

Бентонит играет важную роль в формировании адсорбционных свойств композитов благодаря высокой катионообменной емкости и наличию слоистой структуры. Минеральная составляющая обеспечивает эффективное связывание ионов тяжелых металлов посредством механизмов ионного обмена и комплексообразования [5,11].

Углеродная фаза, полученная из древесных опилок, отвечает преимущественно за развитие пористой структуры и увеличение площади поверхности. Кроме того, кислородсодержащие функциональные группы углеродного материала способствуют адсорбции органических загрязнителей за счет электростатических взаимодействий и образования водородных связей [2,8].

Совместное использование бентонита и углеродного материала приводит к синергетическому эффекту, при котором объединяются преимущества обеих фаз. В результате композиты демонстрируют более высокую адсорбционную способность по сравнению с исходными компонентами, обеспечивая эффективное удаление как неорганических, так и органических загрязняющих веществ из водных сред [6,12].

Таким образом, бентонит и углеродная фаза выполняют различные, но взаимодополняющие функции в составе композита. Бентонит обеспечивает высокую катионообменную способность и способствует удалению ионов тяжелых металлов, тогда как углеродный материал формирует развитую пористую структуру и отвечает за адсорбцию органических загрязнителей. Совместное присутствие обеих фаз приводит к возникновению синергетического эффекта и повышению эффективности очистки воды. Основные характеристики компонентов композита и их влияние на адсорбционные свойства представлены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние компонентов композита на его физико-химические свойства и адсорбционные характеристики

Компонент	Основные характеристики	Вклад в адсорбционные свойства	Основные механизмы взаимодействия
Бентонит	Слоистая структура, высокая катионообменная емкость, наличие гидроксильных групп	Повышает извлечение ионов тяжелых металлов, увеличивает количество активных центров	Ионный обмен, комплексообразование, электростатическое притяжение
Углерод из древесных опилок	Развитая пористая структура, высокая удельная поверхность, наличие кислородсодержащих функциональных групп	Обеспечивает адсорбцию органических загрязнителей и увеличивает адсорбционную емкость	Физическая адсорбция, водородные связи, π–π-взаимодействия
Бентонит-углеродный композит	Комбинация минеральной и углеродной фаз, развитая микро- и мезопористость	Повышенная эффективность удаления как органических, так и неорганических загрязнителей	Ионный обмен, электростатические взаимодействия, водородные связи, π–π-взаимодействия, заполнение пор

3. Механизмы адсорбции и применение композитов для очистки воды

3.1 Основные механизмы адсорбции

Высокая эффективность композитов на основе бентонита и углерода из древесных опилок обусловлена сочетанием нескольких механизмов адсорбции. В отличие от традиционных адсорбентов, данные материалы содержат как минеральные активные центры бентонита, так и развитую пористую углеродную структуру, что обеспечивает удаление широкого спектра загрязнителей из водных растворов [13,14].

Одним из основных механизмов является ионный обмен, характерный для минералов группы смектитов. Благодаря отрицательному заряду кристаллической решетки бентонит способен эффективно связывать катионы тяжелых металлов, включая Pb^{2+}, Cd^{2+}, Cu^{2+} и Zn^{2+} [15]. Существенную роль также играют электростатические взаимодействия между поверхностью адсорбента и заряженными загрязняющими веществами, эффективность которых зависит от pH среды и поверхностного заряда материала [16].

Для органических соединений важное значение имеют водородные связи между функциональными группами адсорбента и молекулами загрязнителей. Карбоксильные, гидроксильные и фенольные группы углеродной фазы способствуют образованию устойчивых межмолекулярных взаимодействий, повышая степень извлечения красителей и фармацевтических соединений [17].

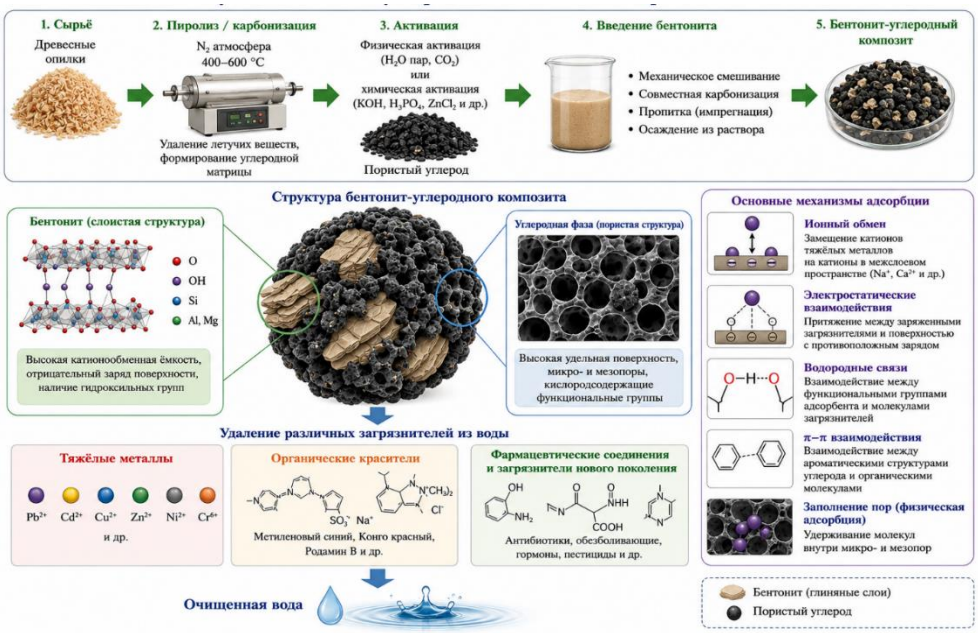


Рис. 1. Получение бентонит-углеродного композита из древесных опилок и механизмы удаления загрязнителей из воды

Дополнительный вклад вносят π–π взаимодействия между ароматическими структурами углеродного материала и органическими молекулами, содержащими бензольные кольца. Такой механизм особенно важен при адсорбции красителей, фенолов и фармацевтических препаратов [18]. Кроме того, развитая система микро- и мезопор обеспечивает физическую адсорбцию за счет заполнения пор и удерживания молекул внутри пористой структуры [19]. Основные этапы получения бентонит-углеродных композитов и механизмы взаимодействия с загрязняющими веществами представлены на рисунке 1.

3.2 Удаление различных загрязнителей

Композиты на основе бентонита и углеродных материалов демонстрируют высокую эффективность при удалении тяжелых металлов из сточных вод. Исследования показывают, что такие материалы способны эффективно извлекать ионы свинца, кадмия, меди, никеля и хрома благодаря

сочетанию ионного обмена, комплексообразования и поверхностной адсорбции [15,20].

Значительное внимание также уделяется удалению органических красителей, которые широко используются в текстильной, пищевой и химической промышленности. Метиленовый синий, конго красный, родамин В и другие красители успешно адсорбируются на поверхности композитов благодаря развитой пористой структуре и наличию кислородсодержащих функциональных групп [21].

В последние годы особый интерес вызывает применение композитов для удаления фармацевтических загрязнителей и других загрязняющих веществ нового поколения (contaminants of emerging concern). К таким соединениям относятся антибиотики, обезболивающие препараты, гормоны и пестициды. Благодаря высокой площади поверхности и разнообразию активных центров композиты способны эффективно удерживать подобные вещества даже при низких концентрациях [22,23].

3.3 Факторы, влияющие на эффективность адсорбции

На процесс адсорбции существенное влияние оказывает кислотность раствора. Изменение pH приводит к изменению заряда поверхности адсорбента и степени ионизации загрязняющих веществ, что непосредственно отражается на эффективности их удаления [24].

Температура также является важным параметром, определяющим кинетику и термодинамику процесса. В большинстве случаев повышение температуры способствует увеличению скорости массопереноса и проникновению загрязняющих веществ в поры адсорбента, однако характер влияния зависит от природы системы и механизма взаимодействия [25].

Концентрация загрязняющих веществ определяет степень заполнения активных центров адсорбента. При увеличении исходной концентрации возрастает движущая сила массопереноса, что может приводить к увеличению адсорбционной емкости до достижения состояния насыщения [26].

Кроме того, эффективность удаления загрязнителей тесно связана с текстурными характеристиками материала. Удельная поверхность, объем пор и распределение пор по размерам оказывают непосредственное влияние на доступность активных центров и скорость диффузии молекул в структуру адсорбента [19,27].

Заключение. Композиты на основе бентонита и углеродных материалов, полученных из древесных опилок, являются перспективными адсорбентами для очистки загрязненных вод благодаря сочетанию развитой пористой структуры углеродной фазы и высокой катионообменной способности бентонита. Использование доступного природного сырья и древесных отходов позволяет получать эффективные материалы с низкой себестоимостью и минимальным воздействием на окружающую среду.

Проведенный анализ показал, что свойства композитов в значительной степени определяются условиями карбонизации и активации, а также соотношением минеральной и углеродной фаз. Развитая поверхность, наличие функциональных групп и оптимальная пористая структура обеспечивают высокую адсорбционную способность по отношению к тяжелым металлам, органическим красителям и фармацевтическим загрязнителям.

Установлено, что механизмы удаления загрязняющих веществ включают ионный обмен, электростатические взаимодействия, образование водородных связей, π–π-взаимодействия и физическую адсорбцию в порах материала. Синергетическое сочетание свойств бентонита и углеродной фазы

способствует повышению эффективности очистки по сравнению с использованием отдельных компонентов.

Несмотря на достигнутые успехи, дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию методов синтеза, повышение регенерационной способности материалов, изучение их долговременной стабильности и расширение возможностей практического применения в системах очистки природных и сточных вод. Перспективным направлением является разработка многофункциональных композитов, способных одновременно удалять различные классы загрязнителей и обеспечивать устойчивую работу в реальных условиях эксплуатации.

Список литератур

1. Ioannidou O., Zabaniotou A. Agricultural residues as precursors for activated carbon production: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2007. – Vol. 11, No. 9. – P. 1966–2005.
2. Ahmed M.J. Preparation of activated carbons from date stones and agricultural wastes: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – Vol. 65. – P. 483–493.
3. Tan X., Liu Y., Zeng G., Wang X., Hu X., Gu Y., Yang Z. Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions // Chemosphere. – 2015. – Vol. 125. – P. 70–85.
4. Toor M., Jin B., Dai S., Vimonses V. Activating agents in the preparation of activated carbon from biomass // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2015. – Vol. 44. – P. 1–25.
5. Murray H.H. Traditional and new applications for kaolin, smectite and palygorskite: A general overview // Applied Clay Science. – 2000. – Vol. 17. – P. 207–221.
6. Kudaibergenova R.M., Aitekova R.A., et al. Physicochemical Properties and Adsorption Mechanisms of Bentonite–Sawdust-Derived Carbon Composites // Water. – 2026. – Vol. 18, No. 2. – Art. 290.
7. Rout P.R., Bhunia P., Dash R.R. A mechanistic approach to evaluate adsorption performance of activated carbon // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2021. – Vol. 9. – Art. 105364.
8. Wang J., Guo X. Adsorption kinetic models: Physical meanings and applications // Journal of Hazardous Materials. – 2020. – Vol. 390. – Art. 122156.
9. Crini G., Lichtfouse E., Wilson L.D., Morin-Crini N. Conventional and non-conventional adsorbents for wastewater treatment // Environmental Chemistry Letters. – 2019. – Vol. 17. – P. 195–213.
10. Khan T.A., Nazir M., Ali I., Kumar A. Removal of heavy metal ions from wastewater using adsorbents // Journal of Molecular Liquids. – 2022. – Vol. 348. – Art. 118148.
11. Bhattacharyya K.G., Gupta S.S. Adsorption of heavy metals on clay minerals: A review // Advances in Colloid and Interface Science. – 2008. – Vol. 140. – P. 114–131.
12. Gupta V.K., Suhas. Application of low-cost adsorbents for dye removal—A review // Journal of Environmental Management. – 2009. – Vol. 90. – P. 2313–2342.
13. Foo K.Y., Hameed B.H. Insights into the modeling of adsorption isotherm systems // Chemical Engineering Journal. – 2010. – Vol. 156. – P. 2–10.
14. Crini G., Lichtfouse E. Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment // Environmental Chemistry Letters. – 2019. – Vol. 17. – P. 145–155.
15. Bhattacharyya K.G., Gupta S.S. Adsorption of heavy metals on clay minerals: A review // Advances in Colloid and Interface Science. – 2008. – Vol. 140. – P. 114–131.
16. Babel S., Kurniawan T.A. Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water // Journal of Hazardous Materials. – 2003. – Vol. 97. – P. 219–243.

17. Wang J., Guo X. Adsorption kinetic models: Physical meanings, applications and solving methods // Journal of Hazardous Materials. – 2020. – Vol. 390. – Art. 122156.
18. Ahmad M., Rajapaksha A.U., Lim J.E., et al. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water // Chemosphere. – 2014. – Vol. 99. – P. 19–33.
19. Tan X., Liu Y., Zeng G., Wang X., Hu X., Gu Y., Yang Z. Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions // Chemosphere. – 2015. – Vol. 125. – P. 70–85.
20. Ali I., Asim M., Khan T.A. Low cost adsorbents for the removal of organic pollutants from wastewater // Journal of Environmental Management. – 2012. – Vol. 113. – P. 170–183.
21. Gupta V.K., Suhas. Application of low-cost adsorbents for dye removal—A review // Journal of Environmental Management. – 2009. – Vol. 90. – P. 2313–2342.
22. Ahmed M.B., Zhou J.L., Ngo H.H., Guo W. Adsorptive removal of antibiotics from water and wastewater // Science of the Total Environment. – 2015. – Vol. 532. – P. 112–126.
23. Crini G., Lichtfouse E., Wilson L.D., Morin-Crini N. Emerging contaminants in wastewater and adsorption technologies // Environmental Chemistry Letters. – 2019. – Vol. 17. – P. 195–213.
24. Tran H.N., You S.J., Chao H.P. Fast and efficient adsorption of contaminants by biochar // Environmental Technology & Innovation. – 2017. – Vol. 8. – P. 322–349.
25. Ayawei N., Ebelegi A.N., Wankasi D. Modelling and interpretation of adsorption isotherms // Journal of Chemistry. – 2017. – Vol. 2017. – Art. 3039817.
26. Ho Y.S., McKay G. Pseudo-second order model for sorption processes // Process Biochemistry. – 1999. – Vol. 34. – P. 451–465.
27. Rout P.R., Bhunia P., Dash R.R. Adsorption performance of activated carbon and porous adsorbents // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2021. – Vol. 9. – Art. 105364.

Материал поступил в редакцию 23.06.26, принят 29.06.26.

И. Казаринов

Саратов мемлекеттік университеті, Саратов, Ресей

АҒАШ ҮГІНДІСІНЕН АЛЫНҒАН КӨМІРТЕК ЖӘНЕ БЕНТОНИТ НЕГІЗІНДЕГІ КОМПОЗИТТЕРДІҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ МЕН АДСОРБЦИЯ МЕХАНИЗМДЕРІ

Аңдатпа. Ағаш үгінділерінен алынған көміртекті материалдар мен бентонит негізіндегі композиттер жоғары меншікті бетінің ауданының, дамыған кеуекті құрылымының және жоғары катионалмасу сыйымдылығының үйлесуі арқасында суды тазартуға арналған перспективалы адсорбенттер класына жатады. Бұл жұмыста ағаш қалдықтарының пиролизі, карбонизация және активтендіру процестері, сондай-ақ көміртекті матрицаға бентонитті енгізу әдістерін қамтитын бентонит–көміртек композиттерін алудың заманауи тәсілдері қарастырылған. Материалдардың негізгі физика-химиялық сипаттамалары, соның ішінде кеуекті құрылымы, беткі функционалдық топтары, фазалық құрамы және морфологиялық ерекшеліктері талданды. Композиттердің құрамы мен олардың адсорбциялық қасиеттері арасындағы байланысқа және ластаушы заттармен өзара әрекеттесу механизмдеріне ерекше назар аударылды. Ауыр металдарды, органикалық бояғыштарды және фармацевтикалық қосылыстарды тиімді жою материал кеуектеріндегі физикалық адсорбциямен қатар ионалмасу, электростатикалық әрекеттесу, сутектік байланыстардың түзілуі және π–π өзара әрекеттесулерінің үйлесуімен қамтамасыз етілетіні көрсетілді. Адсорбция процесіне әсер ететін негізгі факторлар, соның ішінде

ортаның pH мәні, температура, ластаушы заттардың концентрациясы және адсорбенттің құрылымдық сипаттамалары қарастырылды. Жүргізілген талдау ағаш үгінділерінен алынған көміртек пен бентонит негізіндегі композиттердің су ресурстарын тазартудың тиімді, қолжетімді және экологиялық қауіпсіз технологияларын жасау үшін зор әлеуетке ие екенін көрсетті.

Тірек сөздер: бентонит, ағаш үгінділері, биокөмір, композиттер, адсорбция, суды тазарту, ауыр металдар, бояғыштар, фармацевтикалық ластағыштар.

I. Kazarinov

Saratov State University, Saratov, Russia

PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND ADSORPTION MECHANISMS OF BENTONITE- AND WOOD SAWDUST-DERIVED CARBON-BASED COMPOSITES

Abstract. Bentonite- and wood sawdust-derived carbon-based composites represent a promising class of adsorbents for water purification due to the combination of high specific surface area, well-developed porous structure, and high cation exchange capacity. This paper reviews current approaches to the preparation of bentonite–carbon composites, including the pyrolysis of wood waste, carbonization and activation processes, as well as methods for incorporating bentonite into the carbon matrix. The main physicochemical characteristics of these materials, including porous structure, surface functional groups, phase composition, and morphological features, are analyzed. Particular attention is paid to the influence of composite composition on adsorption performance and the mechanisms of interaction with various contaminants. It is shown that the efficient removal of heavy metals, organic dyes, and pharmaceutical compounds is achieved through the combined effects of ion exchange, electrostatic interactions, hydrogen bonding, π–π interactions, and physical adsorption within the pores of the material. The principal factors affecting the adsorption process, including solution pH, temperature, pollutant concentration, and structural characteristics of the adsorbent, are also discussed. The analysis demonstrates that bentonite- and wood sawdust-derived carbon composites possess considerable potential for the development of efficient, cost-effective, and environmentally friendly technologies for water purification.

Keywords: bentonite, wood sawdust, biochar, composites, adsorption, water purification, heavy metals, dyes, pharmaceutical contaminants.

IRSTJ 31.15.19

N.S. Murzakasymova[1] – *main author*,
V.V. Shevtsova[2], D.S. Abdrakhman[3],
S.M. Kantarbayeva[4], K.S. Aidaralieva[5]

©

[1]PhD, Acting Associate Professor, [2]Master, [3,4]Student, [5]Senior lecturer, [6]Chemistry teacher, Teacher-researcher

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0003-0329-6137 [2]https://orcid.org/0009-0005-8153-2926 [3]https://orcid.org/0009-0004-5640-3682 [4]https://orcid.org/0000-0001-5566-1672 [5]https://orcid.org/0009-0000-2110-881X*

[1,2,3,4]M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan
[5]Mynatai Kystaubayuly secondary school, Taraz, Kazakhstan

@ *[1]Naz1282@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/FVHN6891

MODIFICATION OF COAL-BASED SORBENTS FOR THE PURPOSE OF REMOVING HEAVY METALS

Abstract. Sources of environmental and wastewater pollution with heavy metals include chemical detergents used in everyday life, as well as various pollutants discharged from large industrial factories. Even small amounts of heavy metals, including copper and lead ions, can cause significant harm to the human body. In order to reduce the harmful effects of heavy metals, various methods and approaches for their removal have been investigated. Based on a comparison of many scientific studies, the beneficial properties of natural sorbents have been identified. According to our research, it was found that coal exhibits the highest sorption capacity among natural sorbents. In addition, elemental analysis of both raw and modified coal was performed, showing changes in carbon and oxygen content, as well as a reduction in mineral impurities. These changes are explained by the formation of oxygen-containing functional groups on the coal surface and an increase in active sites. Thus, modification of hard coal with hydrogen peroxide demonstrated that its ability to remove heavy metals and its static exchange capacity depend on temperature (60–120°C), contact time (60–120 minutes), and concentration (2.5 mol). Under these optimal conditions, the sorption capacity increases by approximately 40%.

Key words: hard coal, adsorption, sorption, modification, wastewater, heavy metals, coal.

Murzakasymova N.S., Shevtsova V.V., Ablaeva A.E., Abdrakhman D.S., Kantarbayeva S.M., Aidaralieva K.S. Modification of coal-based sorbents for the purpose of removing heavy metals //Mechanics and Technology / Scientific journal. – 2026. – No.2(92). – P.448-453. https://doi.org/10.55956/FVHN6891

Introduction. Introduction Pollution of the environment with heavy metals leads to a huge environmental problem, as damage due to the toxicity and bioaccumulation capacity of heavy metals [1-2]. The aim of the study is to modify coal-based sorbents in order to enhance their efficiency in removing heavy metals from aqueous solutions and to investigate their sorption properties. Heavy metals are used in various industries, i.e. metallurgy and battery production, which leads to losses due to their accumulation in aquatic ecosystems and soils [3]. Even a

small concentration of copper and lead metals negatively affects living organisms and ecosystems.

Among the various methods of removing heavy metals from aqueous solutions, the method of sorption using natural minerals has the highest efficiency [4-5]. At the same time, it is environmentally friendly and has economic accessibility. Among such minerals, zeolite, bentonite clays, stone coal, activated charcoal are widely used [6].

Materials and methods. The studied coal is first thoroughly rinsed with distilled water and then dried in a drying oven in the amount of two hours at the rate of one hundred and ten gardus until all unnecessary substances are removed. In the process of improving the sorption capacity of pure processed stone coal, we modify it with hydrogen peroxide, the ratio of solid and liquid phases undergoes various changes (Table 1).

Table 1

Conditions for coal modification

№	Mass Ratio (Coal : H_2O_2)	T (°C)	t (min)
1	1: 3	60-110	30-120
2	1 : 2,5		
3	1 : 2		
4	1 : 1,5		
5	1 : 1		
6	1 : 0,5		

Post-Modification Treatment and Analysis after modification, the residual coal was washed with a 5% alkaline solution to remove unwanted dust and fine particles. As a result, a loose black product was obtained. The effectiveness of the modification was evaluated by determining the static exchange capacity (SEC) method.

Research results. The static exchange capacity (SEC) increases depending on the concentration of H_2O_2 used in coal modification figure 1. However, increasing the hydrogen peroxide concentration above 2.5 mol does not lead to a further rise in SEC.

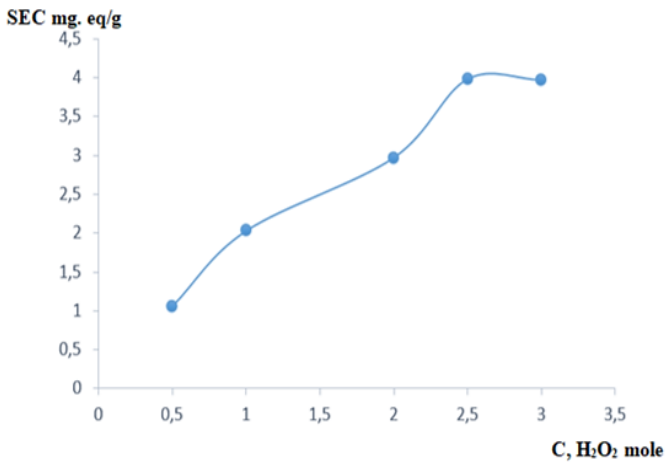


Fig. 1. Dependence of the static exchange capacity (SEC) of coal on the concentration of the modifying agent

The highest SEC value is observed when the temperature is increased up to 110°C figure 2. With further temperature increase, the high values gradually decrease. During the synthesis process, a heating time of 120 minutes demonstrated the best performance figure 3.

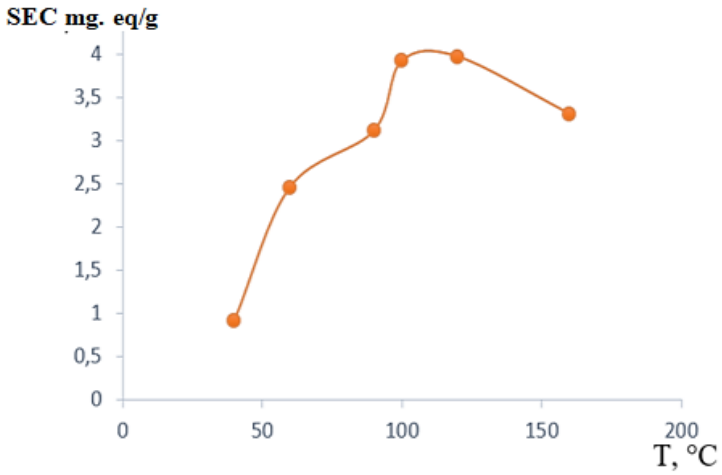


Fig. 2. Dependence of the static exchange capacity (SEC) of modified coal on heating temperature

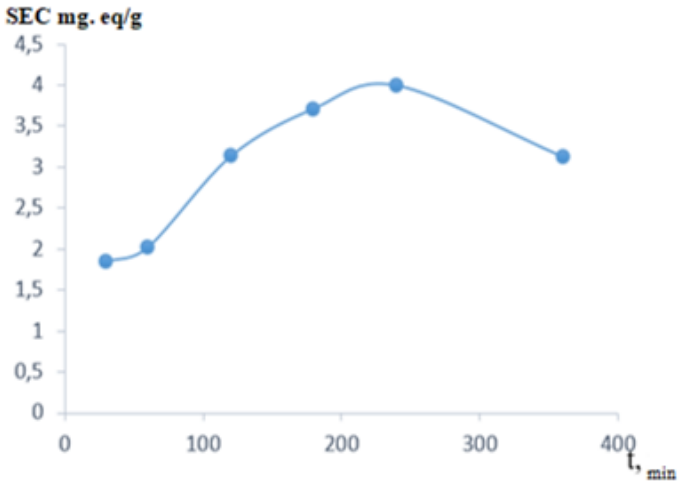


Fig. 3. Dependence of the static exchange capacity (SEC) of modified coal on contact time

Hydrogen peroxide modification increases oxygen-containing functional groups (–OH, –COOH) on the coal surface, leading to an increase in oxygen content and a relative decrease in carbon content. A reduction in some mineral impurities, especially iron, may also be observed. (Table 2).

Table 2

Elemental composition analysis

Element	Raw coal (Wt%)	H_2O_2–modified coal (Wt%)
C	90.3	86
O	7.5	15
Si	0.6	1.3
S	0.9	1.2
Al	0.4	0.5
Fe	0.2	0.0
N	0.0	0.0

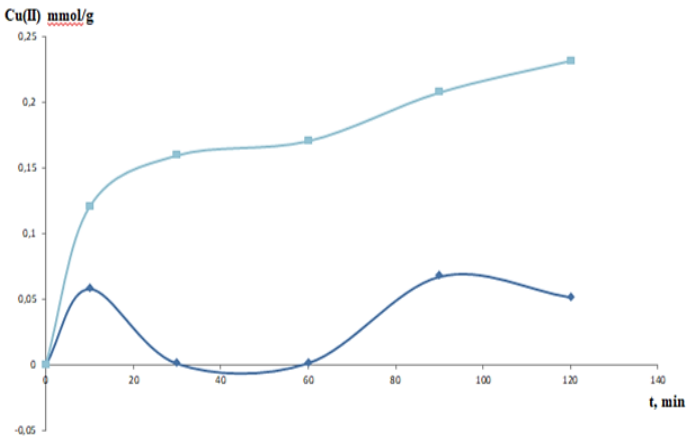


Fig. 4. Time dependence of Cu(II) ion adsorption on raw and modified coal

The given graph shows the time-dependent (t, min) adsorption of Cu(II) ions (mmol/g) and demonstrates that the modified coal has a significantly higher sorption capacity compared to the raw coal figure 4.

Overall, the modified coal exhibits a gradual and steady increase in Cu(II) adsorption over time. At the initial stage, adsorption occurs rapidly, and then the process slows down as it approaches equilibrium. This behavior is attributed to the presence of a higher number of active functional groups (–OH, –COOH) and an increased number of active surface sites.

In contrast, the raw coal shows lower and unstable adsorption values. A decrease and subsequent increase are observed at certain time intervals, indicating an uneven distribution and a lower number of active adsorption sites on its surface.

The graph results confirm that hydrogen peroxide modification enhances the ability of coal to effectively bind Cu(II) ions and significantly improves its sorption properties.

Discussion. According to the elemental analysis results, noticeable changes were observed in the composition of coal after modification with hydrogen peroxide (H_2O_2). The carbon content decreased from 90.3 wt% to 86 wt%, while the oxygen content increased significantly from 7.5 wt% to 15 wt%. This indicates the formation of oxygen-containing functional groups such as hydroxyl and carboxyl groups on the coal surface during the oxidation process. In addition, slight increases were observed in the contents of silicon, sulfur, and aluminum, which may be related to changes in the mineral composition of the coal after treatment. The iron content decreased from 0.2 wt% to 0.0 wt%, indicating partial removal of

mineral impurities during modification. No significant change was observed in the nitrogen content.

Each ion exchanger is capable of adsorbing a certain amount of ions, meaning it possesses a specific exchange capacity. The static exchange capacity (SEC) represents the number of milliequivalents of ions absorbed per gram of dry ion exchanger within a given period of time. As shown in Figure 3, the modified coal adsorbs 4.00 mg-eq/g within 120 minutes.

Overall, the obtained results demonstrate that hydrogen peroxide modification changes the surface chemistry and elemental composition of coal, increases the number of active sites, and improves its sorption properties for heavy metal removal.

Conclusion. The research results showed that modification of coal with hydrogen peroxide (H_2O_2) significantly changes its structural and chemical properties. During the modification process, the number of oxygen-containing functional groups on the coal surface increases, leading to the formation of more active sites. This positively affects the sorption and ion-exchange properties of coal. Elemental analysis revealed a decrease in carbon content and an increase in oxygen content, indicating that the coal surface underwent an oxidation process. In addition, the reduction of mineral impurities demonstrated an improvement in the purification degree of the coal. Overall, H_2O_2-modified coal is a promising sorbent capable of effectively adsorbing heavy metal ions, especially Cu(II) ions. The obtained results indicate the potential application of modified coal in wastewater treatment processes.

References

1. Lee J., Park S. Competitive adsorption of heavy metals in multi-component solutions // Water Research. – 2020. – Vol. 183. – Art. 115983.
2. Xiu Y., et al. Cadmium adsorption on H_2O_2-treated carbons // Journal of Hazardous Materials. – 2019. – Vol. 371. – P. 702–711.
3. Gupta A., et al. Review on adsorbents for heavy metal decontamination // Materials. – 2021. – Vol. 14. – Art. 4702.
4. Ahmed F., et al. Sustainable approaches for heavy metal removal // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2023. – Vol. 62. – P. 10855–10870.
5. Murzakasymova N.S., Bektenov N.A., Serebriakov K.V., Yelkin E.S., Gavrilenko M.A. Control for selective sorption of heavy metals cation with anion exchanger AB-17-8 by modifying the surface with citrate groups // Mendeleev Communications. – 2024. – Vol. 34, No. 5. – P. 755–757.
6. Murzakasymova N.S., Ergimbay S.E., Ryzqiya B.S. Effect of acid–base centers of sulfonated coal on the sorption of heavy metal cations // Proceedings of the XII International Beremzhanov Congress on Chemistry and Chemical Technology [Electronic edition]. – Almaty, Kazakhstan, 2024. – P. 222.

Received: 27 February 2026
Accepted: 13 May 2026

**Н.С. Мурзакасымова[1], В.В. Шевцова[1], Д.С. Абдрахман[1],
А.Е. Аблаева[1], С.М. Қантарбаева[1], К.С. Айдаралиева[2]**

[1]М.Х.Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ, Қазақстан
[2]Мыңатай Кыстаубайұлы атындағы орта мектеп, Тараз, Қазақстан

АУЫР МЕТАЛДАРДЫ ЖОЮ МАҚСАТЫНДА КӨМІР НЕГІЗІНДЕГІ СОРБЕНТТЕРДІ МОДИФИКАЦИЯЛАУ

Андатпа. Қоршаған орта және ағынды сулардың ауыр металдармен ластану көздері өзіміздің күнделікті тұрмыстық жағдайда қолданылып отырған химиялық жуғыш заттар сонымен қатар ірі өндіріс фабрикаларынан төгілген түрлі ластағыш заттардың салдарынан болып отыр. Ауыр металдардың соның ішінде мыс, қорғасын иондарының шамалы мөлшерінің өзі адам ағзасына үлкен зиянын тигізіп отыр. Ауыр металдардың ағзамызға зиянын болдырмау мақсатында олардың жоюдың түрлі жолдары мен әдістері қарастырылды. Көптеген ғалымдардың зерттеулерін салыстыра келе табиғи сорбенттердің тиімді жақтары анықталды. Біздің зерттеуіміз бойынша табиғи сорбенттердің ішінде таскөмірдің сорбциялық қабілеті жоғары екендігі айқындалды. Яғни, тас көмірді сутегі асқын тотығымен модификациялау барысында ауыр металдарды жою қабілеті, статикалық алмасу сиымдылығы температураға (60-120^0), уақытқа (60-120 минут), концентрацияға (2,5 моль) тәуелді көрсеткіштерімен сипатталынып сорбция қабілеті 40% артатындығы дәлелденді.

Тірек сөздер: тас көмір, адсорбция, сорбция, модификация, ағынды сулар, ауыр металдар, көмір.

**Н.С. Мурзакасымова[1], В.В. Шевцова[1], Д.С. Абдрахман[1],
С.М. Қантарбаева[1], К.С. Айдаралиева[2]**

[1]Таразский университет им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан
[2]Средняя школа им. Мынатая Кыстаубайулы, Тараз, Казахстан

МОДИФИКАЦИЯ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ УГЛЯ С ЦЕЛЬЮ УДАЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Аннотация. Источники загрязнения окружающей среды и сточных вод тяжелыми металлами химические моющие средства, применяемые в наших повседневных бытовых условиях, также являются следствием различных загрязняющих веществ, сбрасываемых с крупных производственных фабрик. Даже незначительное количество ионов тяжелых металлов, в том числе меди, свинца, наносит большой вред организму человека. Были рассмотрены различные способы и методы удаления тяжелых металлов с целью предотвращения их повреждения нашего организма. Сравнивая исследования многих ученых, были выявлены преимущества природных сорбентов. Наше исследование показало, что среди природных сорбентов каменный уголь обладает высокой сорбционной способностью. То есть, в процессе модификации каменного угля перекисью водорода было доказано, что способность к сорбции увеличивается на 40%, характеризующаяся показателями, зависящими от температуры (60-120), времени (60-120 минут), концентрации (2,5 моль), емкости статического обмена.

Ключевые слова: каменный уголь, адсорбция, сорбция, модификация, сточные воды, тяжелые металлы, уголь.

IRSTI 50.05.19

Yu.R. Krahmaleva ©

PhD in Technical Science
https://orcid.org/0000-0003-2166-3885
M.Kh. Dulaty Taraz University
Taraz, Kazakhstan
yuna_kr@mail.ru

https://doi.org/10.55956/LWZE6310

EVALUATION OF FUNCTIONS WITH MATRIX ARGUMENTS IN A COMPUTATIONAL MATHEMATICS SYSTEM

Abstract. Functions with matrix arguments represent a mathematical generalization of functions of numerical arguments. Of particular interest is the determination of functions of matrices and the calculation of their values, primarily in connection with the solution of applied problems. It is possible to minimise the computational complexity, which is related not only to the increase in the order of the matrix but also to the presence of simple and multiple roots of the matrix's characteristic polynomial, by performing such computations in modern computer mathematics software packages. The present article develops code for computing a function with a matrix argument, in the case of simple roots of the matrix's characteristic polynomial, in the Maple system.

Keywords: matrix argument, characteristic roots, Lagrange–Sylvester interpolation polynomial, matrix spectrum, minimal polynomial.

Krahmaleva Yu.R., Evaluation of functions with matrix arguments in a computational mathematics system // Mechanics and Technologies / Scientific journal. – 2026. – No.2(92). – P.454-466. https://doi.org/10.55956/LWZE6310

Introduction. In matrix analysis, particular attention is paid to matrix functions. This is due both to their use in fundamental research and to their numerous applications – in control theory, quantum mechanics, and electrical engineering. Let us consider the definition of matrix functions and the calculation of their values.

Conditions and methods of the study. Let A be a n square matrix:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

$f(\lambda)$ is an arbitrary function of the scalar argument λ. The following considerations are to be made $f(\lambda)$ with matrix values, that is, the objective of this study is to define the function of matrices. $f(A)$. As is well known, the simplest functions of matrices are polynomials. The following investigation will consider

the $f(\lambda)$ with matrix values. The objective is to define a function of matrices $f(A)$. It is a recognised fact that the simplest functions of matrices are polynomials. Thus, if $f(\lambda)$ is of the form:

$$f(\lambda) = \gamma_0 \lambda^l + \gamma_1 \lambda^{l-1} + ... + \gamma_l,$$

then, substituting $\lambda = A$, we get:

$$f(A) = \gamma_0 A^l + \gamma_1 A^{l-1} + ... + \gamma_l E.$$

Given this specific case, it is interesting to consider the general case. Let $\psi_A(\lambda)$ be the minimal polynomial of the matrix A:

$$\psi_A(\lambda) = (\lambda - \lambda_1)^{m_1} (\lambda - \lambda_2)^{m_2} ... (\lambda - \lambda_s)^{m_s}, \quad (1)$$

degrees of $m : m = \deg \psi_A(\lambda) = \sum_{k=1}^{S} m_k$, where $\lambda_1, \lambda_2 ..., \lambda_S -$ eigenvalues of a matrix A, and various: $\lambda_1 \neq \lambda_2 \neq ... \neq \lambda_S$, $\sigma(A) = \{\lambda_1, .\lambda_2, ..., \lambda_s\}$.

Suppose that the polynomials $g(\lambda)$ and $h(\lambda)$ are equal, i.e.

$$g(A) = h(A). \quad (2)$$

Then their difference will be equal to 0: $g(\lambda) - h(\lambda) = 0$. Denoting the difference as $d(\lambda) = g(\lambda) - h(\lambda)$, we find that $d(\lambda)$ is a nilpolynomial for the matrix A. Then the difference $d(\lambda)$ is divisible by $\psi_A(\lambda)$ without a remainder, which can be written as:

$$g(\lambda) = h(\lambda) \ (\mathrm{mod}\, \psi(\lambda)). \quad (3)$$

Hence, by virtue of (1)

$$d(\lambda_k) = 0,\ d'(\lambda_k) = 0, ..., d^{(m_k - 1)}(\lambda_k) = 0 \ (k = 1,2,...,s),$$

i.e.

$$g(\lambda_k) = h(\lambda_k), g'(\lambda_k) = h'(\lambda_k), .., g^{(m_k - 1)}(\lambda_k) = h^{(m_k - 1)}(\lambda_k) \ (k = 1,2,...,s). \quad (4)$$

The values of function $f(\lambda)$ on the spectrum of matrix A are the m numbers:

$$f(\lambda_k), f'(\lambda_k), ..., f^{(m_k - 1)}(\lambda_k) \ (k = 1,2,...,s). \quad (5)$$

It is asserted that the function $f(\lambda)$ is defined on the spectrum of the matrix A. The system A is designated as a system of values of the function $f(\lambda)$ on the spectrum of the matrix A. In the absence of definition of the function $f(\lambda)$ on the spectrum of the matrix A, the function A is also undefined. In the context of the system (5), the following notation is employed: $f(\Lambda_A)$. [1–3].

So the function $f(\lambda)=e^{\lambda}$ is defined on the matrix spectrum:

$$A=\begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

The minimal polynomial of the matrix $\psi_A(\lambda)=(\lambda+1)^2(\lambda-2)$ is defined as having two roots $\lambda_1=-1$, with a multiplier $m_1=2$ and, as well as another root $\lambda_2=2$ with a multiplier $m_2=1$. The function $f(\lambda)=e^{\lambda}$ is defined by the set of values and its derivative.

to $\lambda_1=-1$: $f(\lambda_1)=e^{\lambda_1}$, $f(-1)=e^{-1}=\frac{1}{e}$; $f'(\lambda_1)=\lambda_1 e^{\lambda_1}$,

$f'(-1)=-e^{-1}=-\frac{1}{e}$;

to $\lambda_2=2$: $f(\lambda_2)=e^{\lambda_2}$, $f(2)=e^2$.

This function $f(\lambda)=e^{\lambda}$ is defined on the spectrum of the matrix A, and the set of values $f(\Lambda_A)$ is as follows: $f(\Lambda_A)=\left\{\frac{1}{e},-\frac{1}{e},e^2\right\}$.

The same cannot be said of the function $f(\lambda)=\frac{1}{\lambda}$ on the matrix spectrum $B: B=\begin{pmatrix} 2 & 1 \\ -4 & -2 \end{pmatrix}$. The minimal polynomial of the matrix B: $\psi_B(\lambda)=\lambda^2$ has one root $\lambda=0$ with a multiplier $m=2$. Function values $f(\lambda)=\frac{1}{\lambda}$ when $\lambda=0$ is not specified. Therefore, the function $f(\lambda)=\frac{1}{\lambda}$ is undefined on the matrix spectrum B. Therefore, the function of the matrix is undefined $f(B)$.

It has been demonstrated that the function $f(\lambda)=\frac{1}{\lambda}$ on the matrix spectrum $B: B=\begin{pmatrix} 2 & 1 \\ -4 & -2 \end{pmatrix}$ does not hold the same validity. The minimal polynomial of the matrix B: $\psi_B(\lambda)=\lambda^2$ is defined as having one root, $\lambda=0$ with a multiplier

$m = 2$ In the absence of specification regarding the function values $f(\lambda) = \frac{1}{\lambda}$ the following function values $\lambda = 0$ are to be employed: It can thus be concluded that the function $f(\lambda) = \frac{1}{\lambda}$ is undefined on the matrix spectrum B. In consequence, the function $f(B)$ of the matrix is undefined.

It is evident that for $f(A)$ to be comprehensible, it is sufficient that the function $f(\lambda)$ be defined at the characteristic points $\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_m$. In the event that $\psi_A(\lambda)$ possesses multiple roots, then the derivatives $f(\lambda)$ up to a certain order must be defined at specific characteristic points. From the equations (3), it is evident that the polynomials $g(\lambda)$ and $h(\lambda)$ possess identical eigenvalues within the spectrum of the matrix $A: g(\Lambda_A) = h(\Lambda_A)$.

The converse is likewise valid: if (3) follows (2), then (2) holds.

It can thus be concluded that, given a matrix A, the values of the polynomial $g(\lambda)$ on the spectrum of matrix A are unique in determining the matrix $g(A)$. It is evident that all polynomials $g(\lambda)$ that possess identical values on the spectrum of the matrix A also possess identical matrix values $g(A)$. This assertion is applicable to the general case, that is to say, the values of the function $f(\lambda)$ on the spectrum of the matrix A must completely determine $f(A)$. Inbrief, all evident functions $f(\lambda)$ exhibit equivalent values within the spectrum of the matrix A. This observation persists when the matrix is considered as the argument. It is evident that in order to define the function of the matrices $f(A)$, it is sufficient to find a polynomial $g(\lambda)$ with the same values on the spectrum of the matrix A as $f(\lambda)$. In this particular instance, the following elements are at stake:

$$f(A) = g(A).$$

The following definition is thus proposed: In the event of a function $f(\lambda)$ being defined on the spectrum of the matrix A, it can be concluded that $f(A) = g(A)$, is a polynomial whose matrix spectrum contains the same values as $f(\lambda)$:

$$g(\Lambda_A) = h(\Lambda_A).$$

It is evident that there is at least one polynomial of degree $g(\lambda)$ whose eigenvalues in the spectrum of the matrix A coincide with those of $f(\lambda)$, we can speak of an infinite number of such polynomials. Among these, there is a unique polynomial of degree $r_A(\lambda)$ which has a degree less than m and such that:

$$f(\Lambda_A) = r(\Lambda_A).$$

The ensuing interpolation conditions are applicable to the polynomial: $r_A(\lambda)$:

$$r(\lambda_k) = f(\lambda_k), r'(\lambda_k) = f'(\lambda_k), ..., r^{(m_k-1)}(\lambda_k) = f^{(m_k-1)}(\lambda_k) \ (k = 1,2,...,s) \quad (6)$$

which uniquely determine it. The polynomial $r_A(\lambda)$ is called the Lagrange–Sylvester interpolation polynomial for the function $f(\lambda)$ on the spectrum of the matrix A. [2]

It can thus be concluded that, in the event of the function $f(\lambda)$ being defined on the spectrum of the matrix $f(\lambda)$, the Lagrange–Sylvester interpolation polynomial corresponding to $r_A(\lambda)$ is therefore its inverse.

$$f(A) = r(A).$$

In the event of $r_A(\lambda)$ the Lagrange–Sylvester interpolation polynomial for the function $f(\lambda)$ being considered on the spectrum of the matrix A, the following equation is obtained:

$$f(A) = r(A) = \{r(A_1), r(A_2), ..., r(A_u)\}. \quad (7)$$

It is widely accepted that the minimal polynomial $\psi_A(\lambda)$ for A is regarded as the nullifying polynomial for each of the matrices $A_1, A_2, ..., A_u$ from the given equation $A_1, A_2, ..., A_u$.

$$f(\Lambda_{A_1}) = r(\Lambda_{A_1}), ..., f(\Lambda_{A_u}) = r(\Lambda_{A_u}).$$

It is

$$f(A_1) = r(A_1), ..., f(A_u) = r(A_u),$$

The following is the representation of equality (7):

$$f(A) = \{f(A_1), f(A_2), ..., f(A_u)\}. \quad (8)$$

In order to facilitate an adequate analysis of this particular problem, it is necessary to establish certain fundamental concepts. Thus, for a given scalar function $f(\lambda)$ and matrix A, the construction of a polynomial $r_A(\lambda)$ should be undertaken, such that the values $f(\lambda)$ and $r_A(\lambda)$ coincide on the matrix spectrum.

$$f(\Lambda_A) = r(\Lambda_A)$$

1) A case where the characteristic equation $|\lambda E - A| = 0$ has no multiple roots. Let $\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_n$ be the roots of this equation, which are the characteristic values of the matrix A. Then

$$\psi_A(\lambda) = |\lambda E - A| = (\lambda - \lambda_1)(\lambda - \lambda_2)...(\lambda - \lambda_n),$$

and condition (6) is written as follows:

$$r(\lambda_k) = f(\lambda_k) \; k = 1,2,...,n).$$

In this case $r_A(\lambda)$ is the standard Lagrange interpolation polynomial for the function $f(\lambda)$ at points $\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_n$:

$$r_A(\lambda) = \sum_{k=1}^{n} \frac{(\lambda - \lambda_1)...(\lambda - \lambda_{k-1})(\lambda - \lambda_{k+1})...(\lambda - \lambda_n)}{(\lambda_k - \lambda_1)...(\lambda_k - \lambda_{k-1})(\lambda_k - \lambda_{k+1})...(\lambda_k - \lambda_n)} f(\lambda_k),$$

Thereafter:

$$f(A) = r(A) = \sum_{k=1}^{n} \frac{(A - \lambda_1 E)...(A - \lambda_{k-1})(A - \lambda_{k+1} E)...(A - \lambda_n E)}{(\lambda_k - \lambda_1)...(\lambda_k - \lambda_{k-1})(\lambda_k - \lambda_{k+1})...(\lambda_k - \lambda_n)} f(\lambda_k).$$

2) Roots of a characteristic polynomial may be multiple while those of a minimal polynomial are simple: $\psi(\lambda) = (\lambda - \lambda_1)(\lambda - \lambda_2)...(\lambda - \lambda_m).$

In this instance, as was the case in Case 1, it can be demonstrated that all exponents of m_k in are equivalent to one. The following equation (6) can be written in its various forms:

$$r(\lambda_k) = f(\lambda_k) \; k = 1,2,...,m).$$

The number $r_A(\lambda)$ is represented in the form of a standard Lagrange interpolation polynomial.

$$f(A) = r(A) = \sum_{k=1}^{m} \frac{(A - \lambda_1 E)...(A - \lambda_{k-1})(A - \lambda_{k+1} E)...(A - \lambda_m E)}{(\lambda_k - \lambda_1)...(\lambda_k - \lambda_{k-1})(\lambda_k - \lambda_{k+1})...(\lambda_k - \lambda_m)} f(\lambda_k).$$

3) This is the general case.

$$\psi(\lambda) = (\lambda - \lambda_1)^{m_1} (\lambda - \lambda_2)^{m_2} ...(\lambda - \lambda_s)^{m_S} \; m_1 + m_2 + ... + m_s = m).$$

The following hypothesis is put forward: $\frac{r(\lambda)}{\psi(\lambda)}$ is a proper rational function, and can be expressed as the sum of simple fractions:

$$\frac{r(\lambda)}{\psi(\lambda)} = \sum_{k=1}^{s} \left[\frac{\alpha_{k1}}{(\lambda - \lambda_k)^{m_k}} + \frac{\alpha_{k2}}{(\lambda - \lambda_k)^{m_k - 1}} + ... + \frac{\alpha_{k,m_k}}{\lambda - \lambda_k} \right], \qquad (9)$$

where $\alpha_{kj}(j=1,2,...,m_k; k=1,2,...,s)-$ some numbers.

Let's identify the numerators of simple fractions α_{kj} in (9). In order to accomplish this task, it is necessary to multiply both sides of the final equation by $(\lambda-\lambda_k)^{m_k}$. Let us introduce the following notation for the resulting expression $\psi_k(\lambda)$ of the polynomial $\frac{\psi(\lambda)}{(\lambda-\lambda_k)^{m_k}}$. The result is:

$$\frac{r(\lambda)}{\psi_k(\lambda)}=\alpha_{k_1}+\alpha_{k_2}(\lambda-\lambda_k)+...+\alpha_{km_k}(\lambda-\lambda_k)^{m_k-1}+(\lambda-\lambda_k)^{m_k}\delta(\lambda)$$
$$(k=1,2,...,s), \qquad (10)$$

where $\delta(\lambda)-$ a rational function that is regular at $\lambda=\lambda_k$. From this, we obtain the following formulas (11):

$$\left.\begin{aligned}\alpha_{k_1}&=\left[\frac{r[\lambda]}{\psi_k(\lambda)}\right]_{\lambda=\lambda_k},\\ \alpha_{k_2}&=\left[\frac{r(\lambda)}{\psi_k(\lambda)}\right]'_{\lambda=\lambda_k}=r(\lambda_k)\left[\frac{1}{\psi_k(\lambda)}\right]'_{\lambda=\lambda_k}+r'(\lambda_k)\frac{1}{\psi_k(\lambda_k)},...(k=1,2,...,s).\end{aligned}\right\}$$

Formulas (11) demonstrate that the numerators α_{kj} located on the right-hand side of the equation (9) are expressed in terms of the values of a polynomial $r(\lambda)$ situated on the matrix spectrum A. The following values are defined as being equal to the corresponding values of the function $f(\lambda)$ and its derivatives. Thus,

$$\alpha_{k_1}=\frac{f(\lambda_k)}{\psi_k(\lambda_k)},$$

$$\alpha_{k_2}=f(\lambda_k)\left[\frac{1}{\psi_k(\lambda)}\right]'_{\lambda=\lambda_k}+f'(\lambda_k)\frac{1}{\psi_k(\lambda_k)}...(k=1,2,...,s). \qquad (12)$$

The following is the shorthand notation for the formulas (12):

$$\alpha_{kj}=\frac{1}{(i-1)!}\left[\frac{f(\lambda)}{\psi_k(\lambda)}\right]^{(j-1)}_{\lambda=\lambda_k} \quad (j=1,2,...,m_{k;}\ k=1,2,...,s). \qquad (13)$$

Subsequent to the determination of all α_{kj}, the $r(\lambda)$、 are ascertained through the utilisation of the formula. This formula follows from multiplying both sides of the equation (9) by $\psi(\lambda)$:

$$r(\lambda)=\sum_{k=1}^{s}\left[\alpha_{k_1}+\alpha_{k_2}(\lambda-\lambda_k)+\ldots+\alpha_{k,m_k}(\lambda-\lambda_k)^{m_k-1}\right]\cdot\psi_k(\lambda). \qquad (14)$$

In expression (14), the term in square brackets—the coefficient of $\psi_k(\lambda)$, in the (13) power can be expressed as the sum of the first m_k terms of the Taylor series expansion $(\lambda-\lambda_k)$ for the function $\dfrac{f(\lambda)}{\psi_k(\lambda)}$.

Let be an A real matrix. It can thus be demonstrated that the minimal polynomial $\psi(\lambda)$ has real coefficients and roots. The characteristic numbers λ_i, may be real or complex conjugate in pairs; in the case of $\lambda_g=\overline{\lambda_h}$, the multiplicities $m_g=m_h$. are equal. In the context of a real function $f(\lambda)$ on the spectrum of matrix A it can be demonstrated that all values of λ_i must be real. Furthermore, in the case of two complex-conjugate eigenvalues λ_h and $\lambda_g=\overline{\lambda_h}$, it is evident that the corresponding values on the spectrum are complex $f(\lambda_g)=\overline{f(\lambda_h)}, f'(\lambda_g)=\overline{f'(\lambda_h)},\ldots$ It can thus be demonstrated that, by virtue of formula (14), the interpolation polynomial $r_A(\lambda)$ has real coefficients. However, $r(A)$, and consequently $f(A)=r(A)$, constitutes a genuine matrix [3-4].

To illustrate this point, consider the following example: The aim of this study is to calculate the value of the given function $f(A)=r(A)$ on the matrix spectrum:

$$A=\begin{pmatrix} 5 & -3 & 2 \\ 6 & -4 & 4 \\ 4 & -4 & 5 \end{pmatrix}$$

Solution. The following investigation will concern the construction of the characteristic polynomial of the matrix A:

$$\Delta(\lambda)=|A-\lambda E|=\begin{vmatrix} 5-\lambda & -3 & 2 \\ 6 & -4-\lambda & 4 \\ 4 & -4 & 5-\lambda \end{vmatrix}==6-11\lambda+6\lambda^2-\lambda^3=(\lambda-1)\cdot(\lambda-2)\cdot(\lambda-3)$$

In order to facilitate comprehension, the polynomial is presented below, along with the simple roots $\lambda_1=1$, $\lambda_2=2$, $\lambda_3=3$. In this particular instance, it is more expedient to adopt the Lagrange–Sylvester interpolation polynomial as the matrix function:

$$P_3(\lambda)=\sum_{i=0}^{3}f(\lambda_i)\varphi_i(x)=f(\lambda_1)\frac{(\lambda-2)\cdot(\lambda-3)}{(1-2)\cdot(1-3)}+f(\lambda_2)\frac{(\lambda-1)\cdot(\lambda-3)}{(2-1)\cdot(2-3)}+f(\lambda_3)\frac{(\lambda-1)\cdot(\lambda-2)}{(3-1)\cdot(3-2)}=$$

$$=\frac{1}{2}(\lambda-2)\cdot(\lambda-3)f(1)-(\lambda-1)\cdot(\lambda-3)\cdot f(2)+\frac{1}{2}(\lambda-1)\cdot(\lambda-2)\cdot f(3)$$

In consideration of the specified function $f(\lambda)$, which is defined on the spectrum of the matrix A, the following results are obtained:

$$r_A(\lambda)=\frac{1}{2}(\lambda-2)\cdot(\lambda-3)\cdot f(1)-(\lambda-1)\cdot(\lambda-3)\cdot f(2)+\frac{1}{2}(\lambda-1)\cdot(\lambda-2)\cdot f(3) \quad (15)$$

For the purpose of this study, the function $f(A)=\ln A$ will be located, then, for this function $r_A(\lambda)$ when $\lambda=A$ the formula (15) looks like:

$$\ln A=r(A)=\frac{1}{2}(A-2E)\cdot(A-3E)\cdot\ln 1-(A-E)\cdot(A-3E)\cdot\ln 2+\frac{1}{2}(A-E)\cdot(A-2E)\cdot\ln 3$$

Substituting the matrix A and the identity matrix E, we obtain the value of the matrix function:

$$\ln A=r(A)=-\begin{pmatrix}4&-3&2\\6&-5&4\\4&-4&4\end{pmatrix}\cdot\begin{pmatrix}2&-3&2\\6&-7&4\\4&-4&2\end{pmatrix}\cdot\ln 2+\frac{1}{2}\begin{pmatrix}4&-3&2\\6&-5&4\\4&-4&4\end{pmatrix}\cdot\begin{pmatrix}3&-3&2\\6&-6&4\\4&-4&3\end{pmatrix}\cdot\ln 3=$$

$$=\begin{pmatrix}-2\ln 2+4\ln 3&\ln 2-4\ln 3&4\ln 3\\-2\ln 2+8\ln 3&\ln 2-8\ln 3&8\ln 3\\8\ln 3&-8\ln 3&8\ln 3\end{pmatrix}$$

As we can see, using formula (15), we can find the value of any function with a matrix argument. Given the computational complexity of the process, we will perform the calculation using the modern computer software package Maple. We will use the specialised LinearAlgebra package, which is designed for matrix operations. The initial matrix is entered, and the characteristic and minimal polynomials are computed. The roots of the minimal polynomial are then found, and subsequently factored [5]:

```
restart;
with (LinearAlgebra);
A:=Matrix(3,3,[5,-3,2,6,-4,4,4,-4,5]);
Xm:=factor((CharacteristicMatrix(A,lambda)));
Mm:=factor((MinimalPolynomial(A,lambda)));
KMm:=solve(Mm,lambda);
lambda1:=KMm[1];lambda2:=KMm[2];lambda3:=KMm[3];
```

$$A:=\begin{bmatrix}5&-3&2\\6&-4&4\\4&-4&5\end{bmatrix}$$

$$Xm:=\begin{bmatrix}\lambda-5&3&-2\\-6&\lambda+4&-4\\-4&4&\lambda-5\end{bmatrix}$$

$$Mm := (\lambda - 1)(\lambda - 2)(\lambda - 3)$$

$$KMm := 1, 2, 3$$

$$\lambda 1 := 1 \quad \lambda 2 := 2 \quad \lambda 3 := 3$$

Evidently, the roots of the minimal polynomial are distinct, as would be expected according to the theory. The formula for the interpolation polynomial is therefore written down as follows:

```
FA:=f(lambda1)*P1+f(lambda2)*P2+f(lambda3)*P3;
```

$$FA := f(1)\,P1 + f(2)\,P2 + f(3)\,P3$$

Let us calculate the polynomials in turn $P1, P2, P3$, using the symbols for each characteristic number, and then we derive the formula again FA, which, in this case, we shall denote as $FA1$ [6]:

```
P1:=((lambda-lambda2)*(lambda-lambda3))/((lambda1-lambda2)*(lambda1-lambda3));
P2:=((lambda-lambda1)*(lambda-lambda3))/((lambda2-lambda1)*(lambda2-lambda3));
P3:=((lambda-lambda1)*(lambda-lambda2))/((lambda3-lambda1)*(lambda3-lambda2));
FA1:=f(lambda1)*P1+f(lambda2)*P2+f(lambda3)*P3;
```

$$P1 := \frac{(\lambda - 2)(\lambda - 3)}{2}$$

$$P2 := -(\lambda - 3)(\lambda - 1)$$

$$P3 := \frac{(\lambda - 1)(\lambda - 2)}{2}$$

$$FA1 := \frac{1}{2} f(1)(\lambda - 2)(\lambda - 3) - f(2)(\lambda - 3)(\lambda - 1) + \frac{1}{2} f(3)(\lambda - 1)(\lambda - 2)$$

Given a function expressed as λ in $FA1$, we convert it into an expression containing matrix elements. To do this, we work with the numerator of each polynomial $P1, P2, P3$, at the same time λ replace with a matrix A, and we replace the characteristic numbers with the product of that number and the identity matrix E [5]-[6]:

```
A1:=MatrixAdd(A,Multiply(IdentityMatrix(3),(-lambda1)));
A2:=MatrixAdd(A,Multiply(IdentityMatrix(3),(-lambda2)));
A3:=MatrixAdd(A,Multiply(IdentityMatrix(3),(-lambda3)));
ChP1A:=Multiply(A2,A3);
ChP2A:=Multiply(A1,A3);
ChP3A:=Multiply(A1,A2);
```

$$A1 := \begin{bmatrix} 4 & -3 & 2 \\ 6 & -5 & 4 \\ 4 & -4 & 4 \end{bmatrix} \quad A2 := \begin{bmatrix} 3 & -3 & 2 \\ 6 & -6 & 4 \\ 4 & -4 & 3 \end{bmatrix} \quad A3 := \begin{bmatrix} 2 & -3 & 2 \\ 6 & -7 & 4 \\ 4 & -4 & 2 \end{bmatrix}$$

$$ChP1A := \begin{bmatrix} -4 & 4 & -2 \\ -8 & 8 & -4 \\ -4 & 4 & -2 \end{bmatrix} \quad ChP2A := \begin{bmatrix} -2 & 1 & 0 \\ -2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad ChP3A := \begin{bmatrix} 2 & -2 & 2 \\ 4 & -4 & 4 \\ 4 & -4 & 4 \end{bmatrix}$$

All numerators $P1, P2, P3$, As expected, they are represented as matrices. For the matrix representation $P1, P2, P3$ all that remains is to multiply the numerator and denominator of the polynomial:

```
PP1:=Multiply(ChP1A,denom(P1));
PP2:=Multiply(ChP2A,denom(P2));
PP3:=Multiply(ChP3A,denom(P3));
```

$$PP1 := \begin{bmatrix} -8 & 8 & -4 \\ -16 & 16 & -8 \\ -8 & 8 & -4 \end{bmatrix} \quad PP2 := \begin{bmatrix} -2 & 1 & 0 \\ -2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad PP3 := \begin{bmatrix} 4 & -4 & 4 \\ 8 & -8 & 8 \\ 8 & -8 & 8 \end{bmatrix}$$

All the polynomials that make up the formula $FA1$, are represented using matrices. The formula for calculating values with a matrix argument is now ready. Let's define the function $f(\lambda) = \ln \lambda$ for calculation $f(A) = \ln A$. And we write the commands to calculate the values $f(1), f2, f(3)$, using the expression simplification command *simplify* [6]:

```
ff:=ln(lambda);
ff1:=simplify(subs(lambda=lambda1,ff));
ff2:=simplify(subs(lambda=lambda2,ff));
ff3:=simplify(subs(lambda=lambda3,ff));
```

$$ff := \ln(\lambda) \quad ff1 := 0 \quad ff2 := \ln(2) \quad ff3 := \ln(3)$$

Let's calculate each term FA and sum them using the command *simplify* [6]:

```
PP1ff1:=simplify(Multiply(PP1,ff1));
PP2ff2:=simplify(Multiply(PP2,ff2));
PP3ff3:=simplify(Multiply(PP3,ff3));
FA4:=PP1ff1+PP2ff2+PP3ff3;
```

$$PP1ff1 := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad PP2ff2 := \begin{bmatrix} -2\ln(2) & \ln(2) & 0 \\ -2\ln(2) & \ln(2) & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$PP3ff3 := \begin{bmatrix} 4\ln(3) & -4\ln(3) & 4\ln(3) \\ 8\ln(3) & -8\ln(3) & 8\ln(3) \\ 8\ln(3) & -8\ln(3) & 8\ln(3) \end{bmatrix}$$

$$FA4 := \begin{bmatrix} -2\ln(2)+4\ln(3) & \ln(2)-4\ln(3) & 4\ln(3) \\ -2\ln(2)+8\ln(3) & \ln(2)-8\ln(3) & 8\ln(3) \\ 8\ln(3) & -8\ln(3) & 8\ln(3) \end{bmatrix}$$

Functions with matrix arguments represent a mathematical generalization of functions of numerical arguments. Of particular interest is the determination of functions of matrices and the calculation of their values, primarily in connection with the solution of applied problems. It is possible to minimize the computational complexity – which is related not only to the increase in the order of the matrix but also to the presence of simple and multiple roots of the matrix's characteristic polynomial – by performing such computations in modern computer mathematics software packages. This article develops code for computing a function with a matrix argument, in the case of simple roots of the matrix's characteristic polynomial, in the Maple system.

```
restart;
with (LinearAlgebra);
a11:=5:a12:=-3:a13:=2:a21:=6:a22:=-4:a23:=4:
a31:=4:a32:=-4:a33:=5:
A:=Matrix(3,3,[a11,a12,a13,a21,a22,a23,a31,a32,a33]);
```

Research findings. Currently, great importance is attached to methods that can provide efficient solutions, characterised by high computational speed and avoiding complex calculations. The present study has sought to contribute to the existing body of knowledge on the subject through the conduction of empirical testing. The results of this testing have confirmed the hypothesis that, in the case of simple roots of the characteristic polynomial, it is more rational to find functions of a matrix argument using the Lagrange–Sylvester interpolation polynomial. Efficiency is improved when performing calculations in a computer algebra system, which suggests the use of automated code not only for matrices of order 3, but also of higher order: for this, it is necessary to add polynomials Pi sequentially.

Discussion of the research results. The practical implementation of this system within the domain of computer mathematics facilitates the examination of the evaluation of a function of matrices in the case of multiple roots of the matrix's characteristic polynomial. The code developed will undoubtedly complement the automated code presented in this article.

Conclusion. The application of computer technologies facilitates the implementation and operation of methods which, to date, combine the implementation of mathematical methods in computer mathematics systems whilst taking into account their specific characteristics. The developed codes form the basis for widespread use in various applications.

References

1. Kostrikin A.I. Introduction to Algebra. Part I. Fundamentals of Algebra: A Textbook for Universities. 3rd ed. Moscow: FIZMATLIT, 2004. – 272 pp. [in Russian]

2. Shevtsov G.S. Linear Algebra: Theory and Applied Aspects: - Moscow: Magistr, NITs Infra-M, 2013. – 528 pp. [in Russian]
3. Lancaster P. Matrix Theory. Moscow: Main Editorial Board for Physics and Mathematics Literature, Nauka Publishing House, 1973. – 280 pp. [in Russian]
4. Maltsev I.A. Linear Algebra. / - St Petersburg: Lan, 2010. - 384 pp. [in Russian]
5. GovorukhinV.N., Tsibulin V.G. Introduction to Maple. A Mathematical Package for Everyone. - Moscow: Mir, 1997. – 208 pp. [in Russian]
6. Dyakonov V.P. Maple 9.5/10 in Mathematics, Physics and Education. – Moscow: SOLON-Press, 2006. – 720 pp. [in Russian]

Received: 17 April 2026
Accepted: 01 June 2026

Ю.Р Крахмалева

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

ВЫЧИСЛЕНИЕ ФУНКЦИЙ С МАТРИЧНЫМ АРГУМЕНТОМ В СИСТЕМЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МАТЕМАТИКИ

Аннотация.Функции с матричным аргументом представляют собой математическое расширение функций от числовых аргументов. Интерес представляет нахождение функций от матриц и вычисление их значений прежде всего связанный с решением прикладных задач. Минимизировать трудоемкость вычислительного процесса, который связан не только с увеличением порядка матрицы, но и наличием простых и кратных корней характеристического полинома матрицы возможно при проведении таких вычислений в современных пакетах компьютерной математики. В статье разрабатывается код вычисления функции с матричным аргументом, в случае простых корней характеристического полинома матрицы в системе Maple.

Ключевые слова: матричный аргумент, характеристические корни, интерполяционный полином Лагранжа - Сильвестра, спектр матрицы, минимальный полином

Ю.Р. Крахмалева

М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Казахстан

КОМПЬЮТЕРЛІК МАТЕМАТИКА ЖҮЙЕСІНДЕ МАТРИЦАЛЫҚ АРГУМЕНТІ БАР ФУНКЦИЯЛАРДЫ ЕСЕПТЕУ

Аннотация.Матрицалық аргументі бар функциялар сандық аргументтерден функциялардың математикалық кеңеюін сипаттайды. Матрицалардан функцияларды табу және олардың мәндерін есептеу ең алдымен қолданбалы есептерді шешумен байланысты қызығушылық тудырады. Компьютерлік математиканың қазіргі заманғы пакеттерінде осындай есептеулерді жүргізу кезінде матрица тәртібінің ұлғаюымен ғана емес, сондай-ақ матрицаның сипаттамалық көпмүшелігінің қарапайым және еселі түбірлерінің болуымен байланысты есептеу процесінің еңбек сыйымдылығын барынша азайтуға болады. Мақалада Maple жүйесіндегі сипаттамалық матрица көпмүшелігінің қарапайым түбірлері жағдайында матрицалық дәлелі бар функцияны есептеу коды әзірленеді.

Кілт сөздер: матрицалық аргумент, сипаттамалық түбірлер, Лагранж - Сильвестр интерполяциялық көпмүшеліктері, матрица спектрі, минималды көпмүшелік