DULATY UNIVERSITY
Taraz | since 1958

№ 1
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

№ 1 (91)
Қаңтар-наурыз
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 30.03.2026. Форматы 70×180/16. Шартты баспа табағы 41,7. Тираж 300 дана. Тапсырыс 138.

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

№ 1 (91)
Январь-март
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 30.03.2026. Формат 70×180/16. Усл. печ. л. 41,7. Тираж 300 экз. Заявка 138.

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. 1 (91)
January-March
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 30.03.2026. Form 70×180/16. Cond. print. sh. 41.7. Edition 300 copies. Application 138.

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

Aitbayeva A.Zh., Alibekov R.S., Nurseitova Z.T., Satayev B.M., Ablash A.A.
Corn germ based meat-plant canned product with a high nutritional value 9

Отуншиева А.Е., Болегенова С.А., Ветохин С.С., Никитенко А.Н., Шортанбаева Ж.К.
«Шымкентмай» АҚ мысалында қышқылдық саны көрсеткіші бойынша мақта майын өндірудің технологиялық процесін статистикалық модельдеу және тұрақтылығын бағалау 20

Құрманбекова А.Қ., Таева А.М., Чернуха И.М., Джетписбаева Б.Ш., Абильмажинова Н.Қ.
Тағамдық талшықтар қосылған жартылай ет фабрикаттарының түс көрсеткіштерін анықтау 33

Касьянова Л.А.
Изменение химического состава овса голозерного при проращивании ... 40

Abdraimova D.B., Shansharova D.A.
Analysis of the impact of component composition on the technological properties of flour-based confectionery products 50

Тоқтабек А.Ә., Мамаева Л.А., Hülya Gül, Отуншиева А.Е.
Йогурт ұнтағымен байытылған макарон өнімдерінің оңтайлы рецептурасын жетілдіру және олардың құрылымдық қасиеттерін зерттеу 60

Makhmudov F., Azimova S., Tlevlessova D., Yembergenova Zh., Gabbasova A.
Comparative evaluation of soft wheat varieties for their application in healthy nutrition products 71

Саржанова К.Ш., Маликтаева П.М., Сайлаубек Т.Н.
Қазақ тапа-нанының сапасына майлы өнімдердің тигізетін әсері 77

Turar A.A., Azimova S.T., Makhmudov F.A., Zheldybayeva A.A., Bekmurat N.K.
Development of detoxifying national dairy products 83

Жамекова Ж., Чоманов У., Искакова Ж., Акишев Н.
Бұзау етінің жіктелуі және ұшасын бөлшектеу сызбасын стандарттау 95

Мынбаева А.Б., Баянбаева Ж.М., Садибаев А.К., Маликтаева П.М., Онлабекова А.Т.
«Талқан-үлпек» смузи рецептурасын оңтайландыру 111

Маликтаева П.М., Саржанова К.Ш., Сайлаубек Т.Н.
Ұннан жасалған кондитерлік өнімдер өндірісінде ақуызды жүгері пастасын қолдану 119

Хасен Қ.Т., Кузембаева Г.К., Кузембаев К.К., Тлевлесова Д.А., Есенгазиева А.Н.
Өнген тары негізінде спорттық тамақтануға арналған функционалды батончик жасау 125

Аубакирова Г.Е., Еріш Н.А., Мухамедов Т.А, Кульпиисова А.А.
Қарақұмық ұны мен кебектен ашытқысыз дайындалатын нан-тоқаш өнімдерін дайындау технологиясы 132

ЖЕҢІЛ ӨНЕРКӘСІП ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ

ТЕХНОЛОГИИ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

LIGHT INDUSTRY TECHNOLOGIES

Аташикова Н.А., Рафиков А.С., Юнусов К.З., Рамазан Э., Азимов А.М.
Модификация трикотажного полотна с использованием полимерного оптического волокна в smart текстиле 139

Қауымбаев Р.Т., Оразғалиев Д.
Текстиль маталарының электрленгіштік қасиеттерін анықтау 148

Егемберди Р.М., Мирзамуратова Р.Ш., Байрамоглу Е.Е.
Әрлеудің былғары құрылымына әсерін микроскопиялық зерттеу әдісі арқылы анықтау 158

Әмірәлі М.Н., Жилисбаева Р.О.
Әскери киім пакеттерінің физикалық-химиялық және функционалдық қасиеттерін зерттеу 169

Улугмурадов Х.Ю., Мухаметшина Э.Т., Мурадов Р.М.
Влияние изменений формы и размера колков оборудования очистки хлопка от мелких примесей на показатели качества хлопка 177

Кучарбаева К.Ж., Мырзақұл А.А., Сарттарова Л.Т.
Әйел киім жиынтығын дайындауда ою-өрнекпен әрлеп безендірудің сапалық көрсеткіштерін зерттеу 185

Байжанова Ж.Б., Кожабергенова К.Д., Базарбаева С.М., Омарова Е.О., Касымова Г.А.
Анализ и прогнозирование физико-механических свойств материалов спецодежды для строителей на основе многофакторного регрессионного подхода 195

Наетова Г.А., Абзалбекұлы Б., Кожабергенова К.Д., Мэлс М.Д.
Өсімдік экстрактілері сығындыларымен боялған қой терісінен алынған былғарының беріктік қасиеттерін зерттеу 206

Smailova U.S., Abdikayeva A.K., Vakhidova U.A., Bekzat A.B.
Experimental study of the properties of materials used in women’s clothing 216

Кожабергенова К.Д., Байжанова Ж.Б., Касымова Г.А., Нурмухамбетова Б.Т., Наетова Г.А.
Прогнозирование защитных свойств спецодежды при воздействии высоких температур 224

ҚҰРЫЛЫС ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

CONSTRUCTION TECHNOLOGIES

Жаирбаева Г.А., Жусупбеков А.Ж., Шакирова Н.У., Мукашева А.С., Тлеуленова Г.Т.
І типті шөгуге бейім топырақтар жағдайында қағылған қадаларды статикалық сынау 233

Omarov Zh.M., Zhakanov A.N., Kornıejenko K., Yessengabulov S.K., Zharkenov Ye.B.
Influence of technological factors on the strength of slag geopolymers 243

Винников Ю.Л., Косточка Н.А.
Влияние макропористости на сжимаемость грунта 259

Ескермесов Ж.Е., Абдикерова У.Б., Тұрсынбек Ж.Н.
3D басып шығару үшін резинобетон қоспаларының құрамын іріктеу 268

Аруова Л.Б., Тлеубаева А.К., Жаксылыкова Л.А., Артықбаев Д.Ж.
3D-баспаға арналған өнеркәсіптік қалдықтардағы ұсақ түйіршікті фибробетондардың қасиеттері 275

Omarov B., Kopzhasarov B., Mominova S., Duisenbayewa S., Zhunusbekov A.
Structural and thermal behavior of multilayer wall systems with advanced insulation coatings: deformation analysis and performance evaluation 283

И.И. Бекбасаров, Е.И. Атенов, Н.А. Шаншабаев
Определение количества сухого грунта, необходимого для выштамповывания траншей в водонасыщенном грунте 297

Отарбаева Г.М., Артықбаев Д.Ж., Бердалиева Ж., Куттыбай М.Т., Үсенқұлов Ж.А.
Каспий үстірті аумағындағы жер бетінің деформациялық ығысуларының геодинамикалық алғышарттары 307

Сағындықов А.А., Карымсаков Б.А., Әшір Д.Ғ.
Комплексті органо-минералды қоспаның гидротехникалық бетондардың физика-механикалық қасиеттеріне әсері 319

Естемесова А.С., Кульдеев Е.И., Нурлыбаев Р.Е., Алтаева З.Н., Орынбеков Е.С.
Сухие строительные теплоизоляционные смеси на основе модифицированного вяжущего и диатомита 327

Кожакулов Н.К., Копжасаров Б.Т., Моминова С.М., Дуйсенбаева С.Т., Копжасарова Г.Т.
Гипс тұтқырының бекуі мен қатуына ортофосфор қышқылының әсері ... 348

Оралсынкызы М., Сенников М.Н., Джолдасов С.К., Абдиров М., Шорабаева Н., Байжигитова М.Т., Абдирова П.М.
Инженерно-геологические условия строительства гидротехнических сооружений Коксарайского контррегулятора 354

ХИМИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

CHEMICAL TECHNOLOGIES

Абдулова Э.Н., Қанатбек Ұ.Ғ., Реймбаев Е.Қ., Куртебаева А.А., Серикбаева А.М., Орынбаев С.А., Хелдер Т.Г., Калмаханова М.С.
Ағынды суларды тазарту аймағындағы ауыр металдармен ластанған топырақты қалпына келтіру бойынша шешімдерді әзірлеу 368

Кыдырали А.Н., Онгарбаев Е.К.
Синтез и исследование сорбентов для очистки водных сред от органических красителей 383

Rajasekharan R.
Composite materials with sorption properties: structure, modification and applications 391

Дархан Ә.З., Анарбаев А.А.
Исследование влияния микросилики на фазовый состав и физико-механические свойства керамогранита 405

Auyeszhanova A., Yerekenova M., Sultanbayev N., Borsikbayeva A., Bissakhan N.
Numerical modeling of the combustion process in a fixed bed of coal based on experimental studies 418

Kalymbet A.K., Kubekova Sh.N., Kapralova V.I.
Comparative study of a silicophosphate sorbent based on enrichment wastes from the Akbakay deposit and bentonite in the sorption of copper ions from aqueous solutions 427

Аубакиров Е.А., Кидирбоев Б.Т., Simakova I.L., Рақымжан М.Р., Әлібеков Б.Е., Амантайұлы Қ.
Пайдаланылған мотор майларының пиролизі нәтижесінде температура әсерінен түзілетін өнімдердің құрамын зерттеу 433

СУ РЕСУРСТАРЫ ЖӘНЕ СУ ПАЙДАЛАНУ

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

WATER RESOURCES MANAGEMENT

Жолдасов С.Қ., Мақсатқызы Ж., Қойшыбаева Г.Ж., Жабағиева Қ.Р., Баимбетова Г., Абдирова П.М., Абашев М.М.
Көпорлы құмшағалтұтқыштардың гидравликалық және тасындылық режимдерін зерттеу нәтижелері туралы 442

Zarbaliyev M.S., Sariyeva A.A.
Optimization of chemical technological processes in the rehabilitation of collector-drainage systems in the salyan-mugan area 458

КӨЛІК ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ

ТРАНСПОРТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

TRANSPORT TECHNOLOGIES

Балабекова К.Г., Тулеков А.Б., Сахапов Р.Л
Тұрақтылықты қамтамасыз ету үшін мұнара крандарын есептеу
әдістемесін әзірлеу 464

МЕХАНИКА

MECHANICS

Наметкулова Р.Ж., Кадиримбетова А.К.
Жылуөткізгіштік теңдеуі үшін фазалық жазықтықтағы шекаралық
шарттар 472

IRSTI 65.53.03 : 65.59.29

A.Zh. Aitbayeva[1] – *main author*,
R.S. Alibekov[2], Z.T. Nurseitova[3], B.M. Satayev[4], A.A. Ablash[5]

[1]PhD student, [2]Candidate of Chemical Sciences, Professor,
[3]Candidate Of Technical Sciences, Associate Professor, [4,5]MSc

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0001-5896-5241 [2]https://orcid.org/0000-0002-0723-3101*
[3]https://orcid.org/0000-0002-1057-533X [4]https://orcid.org/0009-0007-1682-2964
[5]https://orcid.org/0000-0002-6939-5384

[1,2,3,4,5]M. Auezov South Kazakhstan research university,
Shymkent, Kazakhstan

@ *[1]aiger_4ik@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/RGFY6825

CORN GERM BASED MEAT-PLANT CANNED PRODUCT WITH A HIGH NUTRITIONAL VALUE

Abstract. The fortification of canned products by using of the essential supplements allows for the improving of functional properties and nutritional value. The purpose of the study is the rational use of secondary raw materials from corn processing to create canned meat-plant product with high nutritional and energy value. Recipes for natural canned based on corn raw materials were developed. The studied samples of canned products had a balanced macro- and microelement composition. The optimal sample was a sample of canned meat-plant product in the form of meatballs, which contains the highest amount of macroelements: Mg (1.51 mg/kg), Ca (2.30 mg/kg), P (8.09 mg/kg) and K (12.72 mg/kg). Organoleptic analysis showed that all types of canned meet-plant product meet the requirements of regulatory documents. Also, due to the introduction of corn germ and other ingredients into the composition of canned meat-plant product, the nutritional value indicators have improved.

Keywords: canned food, corn, corn germ, beef, beef tongue, meatballs, canned meat and vegetable products.

Aitbayeva A.Zh., Alibekov R.S., Nurseitova Z.T., Satayev B.M., Ablash A.A. Corn germ based meat-plant canned product with a high nutritional value //Mechanics and Technology / Scientific journal. – 2026. – No.1(91). – P.9-19. https://doi.org/10.55956/RGFY6825

Introduction. Canned food is a food product that is packaged in a sealed container and then sterilized to extend the shelf life of the finished product without spoilage [1,2]. The most common types of canned food include meat and vegetable canned food. Meat and vegetable or meat and vegetable canned food is a type of canned food that contains both meat and vegetable components [3,4].

Currently, the canned food industry faces the problem of providing the population with natural canned food products of domestic production that have functional properties [5,6].

The development of such food products can have a positive effect on human health, since the population of the country, especially in large cities, due to lack of time does not have the opportunity to cook food on their own and resorts to

unhealthy eating. Of interest as the main plant material are processed corn products of domestic production.

Corn is the most common crop among grains. During the study of domestic varieties and hybrids of corn, it was found that one of the most common hybrids of corn is Altai 250 MV. This variety is common not only because of its productivity, but also because of its beneficial properties. This hybrid is drought-resistant and cold-resistant, and does not lodge. This hybrid can also be grown in the Almaty region, which accounts for 52.6% of the corn-sown area. In the southern regions of Kazakhstan, one of the most productive varieties is the Turan 680 SV corn hybrid, whose indicators reach 145.6 c/ha. This variety is also resistant to lodging [7].

During the production of sweet corn in canned form, enterprises give preference to whole corn grains. But also, grinding corn grains in the process of producing canned food with the optional addition of plant materials is relevant [8].

In addition, corn germ is used to enrich canned foods in the manufacturing process. Corn germ was used as a concentrate to make meatballs, enriching the meatballs with proteins, carbohydrates, and minerals. This ingredient is also very important for the production of corn oil [9-11].

The process of obtaining corn germ is shown in Figure 1.

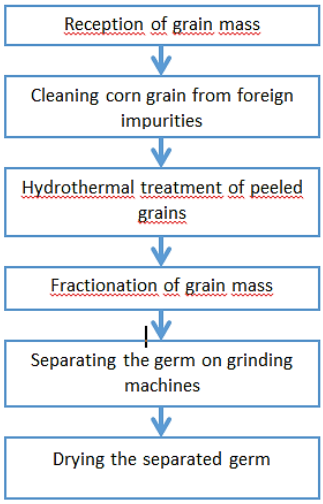


Fig. 1. The process of obtaining corn germ

Materials and methods. The objects of the study are samples of canned food made from meat mixtures in accordance with the requirements and standards of GOST R 55333-2012 and GOST R 55366-2012 [12,13]. They include canned meat and vegetable products with the addition of corn germ and beef tongue, as well as canned meat and vegetable products in the form of meatballs.

Content of macro- and microelements. The composition and amount of mineral substances in the samples of canned corn were determined using the method of mass spectrometry with inductively coupled plasma (ICP-MS) and using a scanning electron microscope (SEM). Using these methods, it is possible to determine a number of non-metals and metals. Unlike other methods, such as atomic absorption spectroscopy, where only one element can be determined, the method used allows determining all elements, significantly accelerating the measurement process [14].

Sensorometric indicators. In order to obtain an expanded idea of the sensory parameters of finished samples with additives, sensorometric analysis is used to assess the quality of canned corn in points. Based on a set of numerical values, a point scale is created. The latter are used in combination with the evaluation of the properties of the analyzed food products in a given quality area. The use of multipoint ranges and their modifications in this method allows obtaining various information data. Parameters such as color, aroma, taste, texture or appearance are determined. The universal system of sensorometric indicators offers four quality levels, which are positive and satisfactory, while the fifth level is unsatisfactory. These requirements correspond to a five-point scale, in which these assessments are given: excellent quality – 5 (from 80 to 100%), above average – 4 (from 60 to 80%), average quality – 3 (from 40 to 60%), below average – 2 (from 20 to 40%), unacceptable quality – 1 (from 0 to 20%) [15].

Organoleptic evaluation. The assessment of organoleptic indicators was carried out by scoring and rating in accordance with the standard – GOST ISO 6658:2016. At the moment, the analysis of organoleptic indicators is most often used not only in the quality control of food products, but also during the production of innovative food products with functional properties.

Analysis of energy and nutritional value. The assessment of these parameters of canned products was carried out in accordance with the following regulatory standards: GOST 25011-2017, GOST 26183-84, GOST 9793-2016, GOST 31727-2012 [16-19].

Developing a recipe for canned meat and vegetables with the addition of corn germ and beef tongue. Before starting to prepare canned meat and vegetables, it is necessary to prepare glass tares and recipe components.

Glass containers for canned food are sterilized in a steam autoclave at 121°C for 15 minutes. After sterilization, the marinade for beef and tongue is prepared. To make the marinade, onions are peeled and grated to form a homogeneous paste using a blender. Black pepper is then added to the onion mixture.

Next, the beef and tongue are cut into pieces measuring 3 cm and 5 cm. The meat and tongue are then pre-marinated and left to marinate for 4-5 hours. Before packaging, the onion paste must be removed, and the marinated meat should be salted to prevent moisture loss.

Next, the plant components are prepared through a process of washing, peeling, and cutting.

Before adding the corn germ to the mixture, it must be softened by processing in a water bath for 30 minutes.

Next, the ingredients proceed to the packaging stage. Marinated beef and tongue, processed corn germ, chopped vegetables, bay leaf, coriander, salt, sugar, and citric acid are placed into pre-sterilized containers.

After the sealing process, the prepared canned products must be sterilized. Sterilization is carried out in a steam autoclave at a temperature of 121°C for 1.5-2 hours [20].

Table 1 presents the recipe for canned meat and vegetables with corn germ and beef tongue.

Table 1

Recipe for canned meat and vegetables with corn germ and beef tongue

Components	Mass fraction, grams (glass container 700 ml)
Canned food	
Beef meat	140
Beef tongue	70
Carrots	46,1
Green beans	45
Corn germ	44
Onions	48
Cauliflower	54
Coriander	3
Sugar	2
White sugar	2,5
Citric acid	0,7
Leafy greens	4
Water	240
Marinade, г	
Onions	89
Black pepper	0,7
Salt	1,7

Development of a recipe for canned meat and vegetable products in the form of meatballs. The ingredients used for the production of canned meat and vegetable products in the form of meatballs are shown in Table 2.

Table 2

Recipe for canned meat and vegetable products (meatballs) with the addition of corn germ

Components	Mass fraction, grams (glass container 350 ml)
Beef meat	66
Beef tongue	35,7
Chicken eggs	10
Cauliflower	20
Corn germ powder	5
Salt	3 (1 for meatballs, 2 for brine)
Green beans	20
Cherry tomatoes	20
Onions	15
Leafy greens	4
Coriander	0,2
Dried garlic	0,2
Black pepper	0,1
Citric acid	0,8
Bone broth	150

Before preparing canned meat and vegetables, it is necessary to prepare the container and the necessary raw materials. Glass containers for canned food are subjected to steam sterilization in a steam autoclave at a temperature of 121°C for 15 minutes.

After this, the vegetable components are prepared: cauliflower, leafy greens, cherry tomatoes and green beans are washed, peeled and cut (cherry tomatoes are not cut). The stage of preparing meatballs comes next.

The meat with beef tongue is cut into pieces of 3 cm and 5 cm. Then the beef meat and tongue are mixed with chicken egg, onion, corn germ powder, sugar, salt, coriander, black pepper to obtain minced meat from a meat grinder. Then the process of forming meatballs with a diameter of 2 cm takes place, and then they are fried in sunflower oil until browned.

The packaging process comes next where the fried meatballs are mixed with plant components, coriander, and citric acid. Then, together with the bone broth, the recipe components are placed in a sterilized glass container.

Next, after the packaging process, it is necessary to sterilize the prepared canned goods. Sterilization is carried out in a steam autoclave for 1 to 2 hours at a temperature of 121°C.

Research results and discussion. *Organoleptic characteristics.* The organoleptic characteristics of canned meat and vegetable products, including corn germ and beef tongue, were assessed in accordance with the requirements of the current standard GOST R 55333-2012 [9].

Table 3 shows the organoleptic properties of canned meat and vegetable products made from corn germ and beef tongue.

Table 3

Organoleptic properties of canned meat and vegetable products made from corn germ and beef tongue

Evaluated parameters	Requirements for regulatory standards	Indicators of the studied sample
Appearance and consistency	Beef pieces with vegetable additives	Beef pieces with vegetable additives in the form of carrots, cauliflower, onions and green beans
Taste	Characteristic taste for this type of canned food, foreign tastes are unacceptable	Taste is characteristic of this type of canned goods, without foreign tastes
Aroma	Characteristic aroma for this type of canned food, foreign aromas are unacceptable	Aroma is characteristic of this type of canned goods, without foreign aromas
Foreign impurities	None	Absent

The organoleptic characteristics of canned meat and vegetable products in the form of meatballs with the addition of corn germ were analyzed in accordance with the current standards GOST R 55333-2012, as well as GOST R 55366-2012.

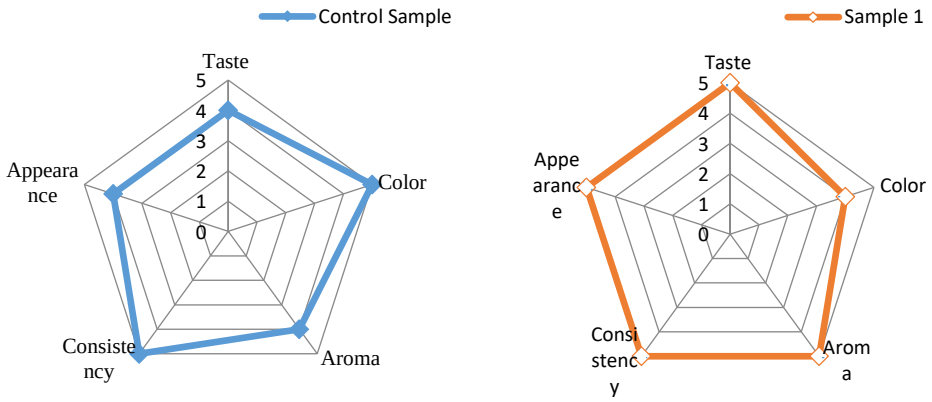
Table 4 presents the organoleptic properties of a sample of canned meat and vegetable products in the form of meatballs with the addition of corn germ.

Sensory parameters. During the evaluation of the sensory properties of canned meat and vegetables with the addition of corn germ and beef tongue, it was found that the aroma and taste of this canned product are similar to canned food of this type. The appearance of this sample is also characteristic of canned meat and vegetables, the assessment of which is 4.8 points. The sensory characteristics of this sample of canned product are presented in Figure 2.

Table 4

Organoleptic properties of a sample of canned meat and vegetable products in the form of meatballs with the addition of corn germ

Characteristic	GOST R 55333-2012 and GOST R 55366-2012	Sample
Appearance	For meatballs: shape – round-flattened. The surface of the meatballs should be sprinkled with breadcrumbs. Cooking meatballs without breadcrumbs is allowed. Meatballs with vegetable additives are allowed.	Meatballs: round shape. The surface is sprinkled with breadcrumbs in the form of corn germ. Meatballs with green beans, cauliflower, and tomato (cherry).
Taste	Characteristic taste for this type of canned food, foreign flavors are unacceptable	The taste is characteristic of this type of canned goods, without foreign tastes
Foreign impurities	None	None
Consistency	Juicy, soft and not crumbly (for meatballs)	Juicy, soft and not crumbly
Aroma	Characteristic aroma for this type of canned food, foreign flavors are unacceptable	Aroma is characteristic of this type of canned goods, without foreign aromas



а) б)

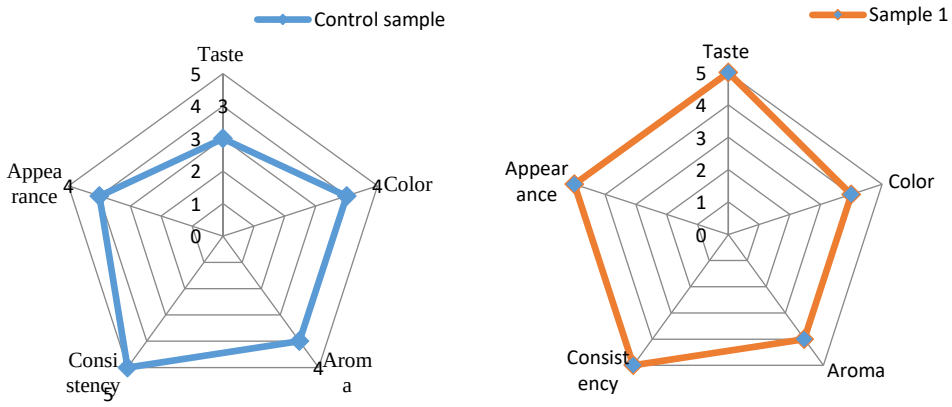
а) control sample; b) canned meat and vegetable products with added corn germ and beef tongueю

Fig. 2. Sensorometric evaluation of canned meat and vegetable products with added corn germ and beef tongue

The assessment of the sensorometric properties of canned meat and vegetable products revealed that the sample of these canned products containing corn germ and beef tongue has a taste and aroma that is typical for this type of canned products.

The appearance of this sample of canned meat and vegetable products is similar to its analogue. The assessment for these canned products is 4.8 points.

Figure 3 shows the sensorometric indicators of canned meat and vegetable products in the form of meatballs with the addition of crushed corn germ.



а) б)

a) control sample; b) test sample with the addition of crushed embryo

Fig. 3. Evaluation of sensorometric characteristics of canned meat and vegetable meatballs

During the analysis of sensorometric characteristics of meat and vegetable preserves in the form of meatballs with the addition of crushed corn germ, it was found that this sample has a rich and pleasant taste with vegetable and meat notes. These preserves have an excellent appearance and consistency, as well as a pleasant, but slightly less intense aroma. This type of preserves was rated at 4.6 points.

Macro- and microelement composition. Inductively coupled plasma mass spectrometry was used to determine the mineral composition of the obtained preserve samples.

Table 5 shows the macro- and microelement composition of samples of canned meat and vegetable products (meatballs breaded with corn germ powder) and canned meat and vegetable products with the addition of beef tongue.

Table 5

Macro- and microelement composition of the samples of the obtained canned goods

Elements	Samples, mass, mg/kg	
	Sample 1 (Meat and vegetable canned food (meatballs))	Sample 2 (Meat and vegetable canned food)
O	32.16	23.16
Na	18.93	24.41
Mg	1.51	0.77
P	8.09	3.64
S	0.41	0.64
Cl	23.87	37.02
K	12.72	8.60
Ca	2.30	1.75

The mineral composition of the resulting canned food is shown in Figure 4.

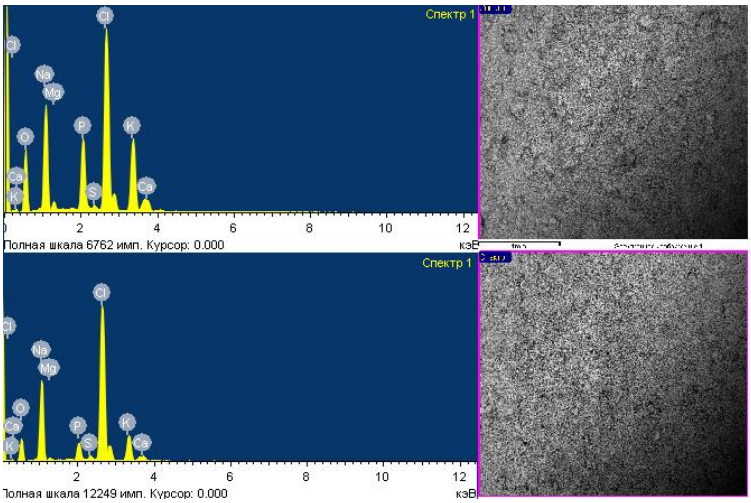


Fig. 4. Macro- and microelement composition of samples of the obtained canned goods: meat and vegetable canned goods in the form of meatballs breaded with corn germ powder (sample 1); meat and vegetable canned goods containing beef tongue and corn germ (sample 2)

According to the results of the assessment of the macro- and microelement composition of the canned food samples, the highest content of Mg (1.51 mg/kg) and K (12.72) was observed in sample 1, which can have a positive effect on the functioning of the nervous system and heart. The next sample (sample 2) contains the highest content of Na 24.41 mg/kg and Cl 37.02 mg/kg, which has a positive effect on the functioning of the nervous system and the gastrointestinal tract. Sample 1 was chosen as the optimal sample due to its high content of Ca and P, the amount of which is 2.30 mg/kg and 8.09 mg/kg, the content of which is very important for the functioning of the human skeletal system and its growth.

Determination of energy value. To determine the energy value, studies were conducted on a sample of canned meat and vegetable products containing beef meat and tongue, corn germ meatballs, and a sample of canned meat and vegetable products (meatballs). The tests were conducted at a temperature of 20.5-24.5°C with room humidity of 68-73%.

The results of the studies of the nutritional energy value of the samples of canned meat and vegetable products are shown in Table 6.

Table 6

Results of studies of the nutritional energy value of canned meat and vegetable samples

№	Name of indicators, units of measurement	Sample 1 Canned meat and vegetable products containing corn germ, beef and tongue	Sample 2 Canned meat and vegetable products (meatballs)
1	Nutritional value, g/100g		
2	Proteins	5,91±0,89	8,5±1,28
3	Fats	1,52±0,09	2,32±0,14
4	Carbohydrates	3,38±0,17	2,95±0,15
5	Moisture	88,24±0,09	84,96±4,25
6	Ash	0,95±0,05	1,27±0,06
7	Energy value, kcal/kJ/100g	50,84/212,71	66,67/279,0

The analysis of the results of the study of the nutritional and energy value of the samples of canned meat and vegetable products shows that canned meat and vegetable products in the form of meatballs (8.5+1.28g/100g) contain more proteins than canned meat and vegetable products containing corn germ, beef meat and tongue (5.91+0.89g/100g). All samples have an increased content of proteins due to the addition of corn germ, which is rich in essential amino acids. This indicates a higher nutritional value of this product in terms of the protein component. In terms of fat content, canned meat and vegetable products containing corn germ and beef tongue (1.52+0.09g/100g) are inferior to canned meat and vegetable products in the form of meatballs (2.32+0.14g/100g) by 35%. As an optimal sample, we can single out meat and vegetable preserves in the form of meatballs due to the high protein content, as well as the low carbohydrate content, which is typical for corn germ. Also, the ash content is higher in this sample (1.27 + 0.06 g / 100 g), which indicates a greater amount of minerals.

Conclusion. The following recipes for natural corn-based canned foods were developed: meat and vegetable canned foods containing corn germ, beef and tongue, and meat and vegetable canned foods in the form of meatballs. Organoleptic and sensory analysis of these canned food samples was conducted.

The organoleptic evaluation was conducted in accordance with the requirements of the current regulatory documents. The organoleptic evaluation showed that the canned food samples meet the requirements of the regulatory documents. The sensory evaluation of the canned food samples showed an improvement in the studied parameters compared to the control samples.

During the analysis of macro- and microelements, the highest content of Mg (1.51 mg/kg) and K (12.72) was observed in the sample of meat and vegetable preserves in the form of meatballs. The next sample of meat and vegetable preserves containing the embryo and beef tongue contained the highest content of Na 24.41 mg/kg and Cl 37.02 mg/kg.

The energy and nutritional value of corn-based canned food samples was determined. The presented samples showed good results in terms of added protein and corn germ content. Compared with another sample, meat and vegetable canned food in the form of meatballs showed the best results, having a high protein content (8.5+1.28 g/100 g) and a low carbohydrate content (2.95+0.15 g/100 g).

References

1. Desnitskaya E., Rozanova S.M. Mikroflora konservov [Microflora of canned food] // Youth and Science. – 2016. – No. 8. – P. 6-6. [in Russian].
2. Ramesh M.N. Canning and Sterilization of Foods // In Handbook of Food Preservation. – 2020. – P.609-636.
3. Pylaev V.E., Saiko, S.G. Organolepticheskoe issledovanie myasorastitel'nyh konservov [Organoleptic study of canned meat and vegetables] // Youth and Science. – 2022. – No. 3. [in Russian].
4. Prilipko T., Bukalova, N., Bogatko, N., Lyasota, V. The use of food additives and ingredients in the production of canned meat and vegetable products // International periodic scientific journal. – 2023. – No. 28. – P.46-51.
5. Fedosenko T.V., Patsyuk L.K., Medvedeva E.A., Nariniyants T.V. Novyj vid konservov dlya funkcional'nogo pitaniya [New type of canned food for functional nutrition] // Vegetables of Russia. – 2018. – No. 6. – P. 63-69. [in Russian].
6. Siró I., Kápolna E., Kápolna B., Lugasi A. Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance – A review // Appetite. – 2008. – No. 51. – P. 456-467.

7. Alibekov R.S., Aitbayeva A.Zh., Konarbaeva Z.K., Satayev B.M. Corn market economic evaluation // Proceeding X International Conference «Industrial Technologies and Engineering» ICITE, 2023. – No. 2. – P. 11-16.
8. Tanklevska N.S. Mirovoj rynok kukuruzy: analiz, tendencii i perspektivy ee glubokoj pererabotki [World corn market: analysis, trends and prospects for its deep processing] // Economics of agriculture and resources: International scientific electronic journal. – 2020. – No. 6. – P. 96-111. [in Russian].
9. Alibekov R.S., Kaiypova A.B., Urazbayeva K.A., Ortayev A.E., Azimov A.M. Effect of substitution of sugar by high fructose corn syrup of the confiture on the base of PHYSALIS // Periodico Tche Quimica. – 2019. – No. 16(32). – P.688-697.
10. Shazzo A.A., Kornena E.P., Butina E.A. Liniya otdeleniya zarodysha ot zerna kukuruzy [The line separating the germ from the corn grain] // Invention RU № 2 480 284 C1.2013. [in Russian].
11. Plotnikova E.M., Nizamov R.N., Vafin F.R., Shakurov M.M., Vasilevsky N.M., Tukhfatullov Z.L. Sovremennye problemy tekhnologii polucheniya fosfolipidov (obzor) [Modern problems of technology of obtaining phospholipids (review)] // Bulletin of the Mari State University. Series Agricultural Sciences. Economic Sciences. – 2023. – No. 9(2 (34)). – P.168-177. [in Russian].
12. GOST R 55333-2012 Konservy myasorastitel'nye. Tekhnicheskie usloviya [Canned meat and vegetable products. Specifications]. – Introduced 2014–01–01. – Moscow: Standardinform, 2014. – 21 p. [in Russian].
13. GOST R 55366-2012 Polufabrikaty myasnye rublenye dlya detskogo pitaniya. Tekhnicheskie usloviya [Semi-finished minced meat products for baby food. Specifications]. – Introduced 2014–01–01. – Moscow: Standardinform, 2014. – 20 p. [in Russian].
14. Alibekov R.S., Kenzhibayeva G.S., Utebaeva A.A., Urazbayeva K.A., Tursynbay L.M., Kulanova D.A. Enriched plum filling for the confectionery // Food Research. – 2020. – No. 4(6). – P. 26-34.
15. Alibekov R.S., Gabrilyants E.A., Utebaeva A.A., Nurseitova Z.T., Konarbayeva Z.K., Khamitova B.M. Cottage cheese fortified by natural additives // Food Research. – 2021. – No. 5(1). – P. 152-159.
16. GOST 25011-2017. Myaso i myasnye produkty. Metody opredeleniya belka [Meat and meat products. Methods for determining protein]. – Introduced 2018-01-07. – Moscow: Standardinform, 2018. – 18 p. [in Russian].
17. GOST 26183-84. Produkty pererabotki plodov i ovoshchej, konservy myasnye i myasorastitel'nye. Metod opredeleniya zhira [Processed fruit and vegetable products, canned meat and meat-and-vegetable products. Method for determining fat]. – Introduced 1985-01-07. – Moscow: USSR State Committee for Standards, 1985. – 7 p. [in Russian].
18. GOST 9793-2016. Myaso i myasnye produkty. Metody opredeleniya vlagi [Meat and meat products. Methods for Determining Moisture]. – Introduced. 2018–01–01. – Moscow: Standardinform, 2018. – 28 p. [in Russian].
19. GOST 31727-2012. Myaso i myasnye produkty. Metody opredeleniya massovoj doli obshchej zoly [Meat and Meat Products. Methods for Determining the Mass Fraction of Total Ash]. – Introduced. 2013–01–07. – Moscow: Standardinform, 2019. – 9 p. [in Russian].
20. Aitbayeva A.Zh., Satayev B.M., Ablash A.A., Alibekov R.S., Farah Saleena Binti Taip. Method for producing natural canned meat and vegetables // Unity model № 9756.2024. Bul. №45.

Received: 20 February 2025
Accepted: 21 August 2025

А.Ж. Айтбаева[1], Р.С. Алибеков[1], З.Т. Нурсеитова[1], Б.М. Сатаев[1], Ә.Ә. Әбләш[1]

[1]М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті,
Шымкент, Қазақстан

ТАҒАМДЫҚ ҚҰНДЫЛЫҒЫ ЖОҒАРЫ ЖҮГЕРІ ҰРЫҒЫ НЕГІЗІНДЕГІ ЕТ-ӨСІМДІК КОНСЕРВІЛЕРІ

Аңдатпа. Консервілерді маңызды қоспаларды қолдану арқылы байыту функционалдық қасиеттері мен тағамдық құндылығын жақсартуға мүмкіндік береді. Зерттеудің мақсаты – жоғары тағамдық және энергетикалық құндылығы бар ет-консервілерді жасау үшін жүгері өңдеуден алынған қайталама шикізатты ұтымды пайдалану. Жүгері шикізаты негізінде табиғи консервілердің рецептері әзірленді. Консервіленген өнімдердің зерттелген үлгілері теңдестірілген макро- және микроэлементтік құрамға ие болды. Оңтайлы үлгі ретінде макроэлементтердің ең көп мөлшері: Mg (1,51 мг/кг), Ca (2,30 мг/кг), P (8,09 мг/кг) және K (12,72 мг/кг) болатын, фрикаделькалар түріндегі консервіленген ет комбинаты өнімінің үлгісі болды. Органолептикалық талдау консервіленген өсімдік өнімдерінің барлық түрлері нормативтік құжаттардың талаптарына сәйкес келетінін көрсетті. Сондай-ақ консервіленген ет-өсімдік өнімінің құрамына жүгері ұрықтары мен басқа ингредиенттерді енгізу есебінен тағамдық құндылық көрсеткіштері жақсарды.

Тірек сөздер: консервілер, жүгері, жүгері ұрығы, сиыр еті, сиыр тілі, фрикаделькалар, ет-өсімдік консервілері.

А.Ж. Айтбаева[1], Р.С. Алибеков[1], З.Т. Нурсеитова[1], Б.М. Сатаев[1], Ә.Ә. Әбләш[1]

[1]Южно-Казахстанский исследовательский университет им. М. Ауэзова,
Шымкент, Казахстан

МЯСОРАСТИТЕЛЬНЫЕ КОНСЕРВЫ НА ОСНОВЕ КУКУРУЗНЫХ ЗАРОДЫШЕЙ С ВЫСОКОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТЬЮ

Аннотация. Обогащение консервов незаменимыми добавками позволяет улучшить функциональные свойства и пищевую ценность. Целью исследования является рациональное использование вторичного сырья переработки кукурузы для создания консервов мясорастительного происхождения с высокой пищевой и энергетической ценностью. Разработаны рецептуры натуральных консервов на основе кукурузного сырья. Исследуемые образцы консервов имели сбалансированный макро- и микроэлементный состав. Оптимальным образцом признан образец консервов мясорастительного происхождения в виде фрикаделек, в котором содержится наибольшее количество макроэлементов: Mg (1,51 мг/кг), Ca (2,30 мг/кг), P (8,09 мг/кг) и K (12,72 мг/кг). Органолептический анализ показал, что все виды консервов мясорастительного происхождения соответствуют требованиям нормативных документов. Также за счет введения в состав консервов мясорастительного происхождения зародышей кукурузы и других ингредиентов улучшились показатели пищевой ценности.

Ключевые слова: консервы, кукуруза, кукурузный зародыш, говядина, говяжий язык, фрикадельки, мясорастительные консервы.

ҒТАМР 65.65.29 : 65.65.03

А.Е. Отуншиева[1] – *негізгі автор*,
С.А. Болегенова[2], С.С. Ветохин[3],
А.Н. Никитенко[4], Ж.К. Шортанбаева[5]

©

[1]Докторант, [2]Физ.-мат. ғылым. д-ры, профессор,
[3]Физ.-мат. ғылым. канд., профессор, [4]Техн. ғылым. канд., доцент,
[5]Аға оқытушы

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0002-5446-0227 [2]https://orcid.org/0000-0001-5001-7773*
[3]https://orcid.org/0000-0002-8613-731X [4]https://orcid.org/0000-0003-0915-3831
[5]https://orcid.org/0000-0002-1148-6865

[1,2,5]Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
[3,4]Беларусь мемлекеттік технологиялық университеті,
Минск, Беларусь Республикасы

@ *[1]03.08.1990.43@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/YTDR9845

«ШЫМКЕНТМАЙ» АҚ МЫСАЛЫНДА ҚЫШҚЫЛДЫҚ САНЫ КӨРСЕТКІШІ БОЙЫНША МАҚТА МАЙЫН ӨНДІРУДІҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ПРОЦЕСІН СТАТИСТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН БАҒАЛАУ

Аңдатпа. Бұл мақалада «Шымкентмай» АҚ кәсіпорнында мақта майын өндірудің технологиялық процесінің тұрақтылығын бағалау үшін жүргізілген статистикалық модельдеу нәтижелері берілген. Зерттеудің негізгі объектісі ретінде өсімдік майының сапасы мен сақтау мерзіміне тікелей әсер ететін негізгі параметр болып табылатын қышқылдық сан көрсеткіші таңдалды. Процесс тұрақтылығы Шухарт бақылау карталары арқылы бақыланды. Сонымен қатар, процесс мүмкіндіктерінің Ср және Срk индекстері есептелді және нақты өндіріс деректерімен салыстырылды. Алынған нәтижелер негізінде өндірістің әртүрлі кезеңдеріндегі (сығу, сүзу, вакуумда кептіру) ауытқу дәрежесі мен сипаты анықталды, бұл жеке режимдердің сапа тұрақтылығына әсерін анықтауға мүмкіндік берді. Статистикалық бақылау әдістерін енгізу процестің тұрақтылығын арттыруға, өнім сапасының тұрақтылығы мен ұлттық (ҚР СТ) және халықаралық (ISO 660) стандарттардың талаптарына сәйкестігін қамтамасыз етуге мүмкіндік берді. 0,30-0,32 мг КОН/г диапазонындағы қышқылдың орташа саны өнімнің нормативтік талаптарға сәйкестігін растады. Мақалада сонымен қатар технологиялық процесті оңтайландыру бойынша нақты ұсыныстар берілген: шикізаттың сапасын бақылау, температуралық жағдайларды тұрақтандыру, персоналдың біліктілігін жоғарлату. Бұл шаралар өнімнің сенімділігі мен қауіпсіздігін арттыруға, сондай-ақ тұтынушылардың сенімін нығайтуға бағытталған.

Тірек сөздер: мақта майы, қышқыл саны, статистикалық бақылау, бақылау карталары, процесс тұрақтылығы, SCADA, сапаны басқару.

Отуншиева А.Е. «Шымкентмай» АҚ мысалында қышқылдық саны көрсеткіші бойынша мақта майын өндірудің технологиялық процесін статистикалық модельдеу және тұрақтылығын бағалау [Мәтін] / А.Е. Отуншиева, С.А. Болегенова, С.С. Ветохин, А.Н. Никитенко, Ж.К. Шортанбаева // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.20-32. https://doi.org/10.55956/YTDR9845

Кіріспе. Өнімнің жоғары сапасы кәсіпорынның нарықтағы бәсекелестікті қамтамасыз етудегі табысқа жетуінің басты шартына айналды [1]. Тамақ өнеркәсібінің негізгі мақсаты болып өнімнің сапасы мен қауіпсіздігінің заманауи талаптарына жауап беретін тамақ өнімдері бойынша қоғамның қажеттіліктерін барынша қанағаттандыру табылады [2]. Тамақ өнімдерінің сапасына қойылатын талаптардың артуы және халықаралық стандарттарға сәйкестігінің қажеттілігі жағдайында технологиялық процестерді басқарудың тиімділігін арттыру өндеуші кәсіпорындардың бірінші кезектегі міндетіне айналуда. Қазіргі уақытта және келешекте өнімнің жоғары сапасын, жаңалығын және бәсекеге қабілеттілігін қамтамасыз ете алатын кәсіпорындар ең жақсы жағдайда болады [3]. Қазіргі таңдағы әлемдік қауымдастыққа белсенді интеграция жүріп жатқан кезде азық-түлік өнімдерінің сапасы мен қауіпсіздігі кәсіпорындардың бәсекеге қабілеттілігінің негізгі критерийіне айналуы тиіс [4]. Бәсекелестік және технологиялардың қарқынды дамуы жағдайында статистикалық әдістерді қолдану тұрақты өнім сапасына қол жеткізуге мүмкіндік береді, бұл кәсіпорынға нарықтағы бірегей позицияны және табыстылықты арттыруды қамтамасыз етеді [5]. Статистикалық бақылауды қолдану өндірістік циклдегі ақаулар мен ауытқуларды анықтауға және жоюға мүмкіндік береді, бұл өндірілетін өнімнің өнімділігі мен сапасын айтарлықтай арттырады. Статистикалық бақылау өндіріс процесін бақылауға және ағымдағы үлгіні нақтылауға мүмкіндік беретін деректерді өлшеу мен талдауға негізделген [6]. Сапа менеджментіндегі практикалық қолданудағы ең алдыңғы статистикалық әдістер болып мыналар табылады: процесті статистикалық бақылау (SPC), өлшем жүйелерін талдау (MSA), сынамаларды алу әдістері және процесс пен өнімнің сенімділігін бағалау. Процесті жетілдіруде статистикалық әдістер ерекше орын алады [7]. Статистикалық процесті бақылау (SPC) – өнімді немесе қызметті өндіру кезінде оны тексеру процесі [8]. Өндірістік процестерде өнімнің жобалық сипаттамаларына сәйкес қаншалықты сенімді жұмыс істейтінін талдау үшін статистикалық процесті бақылау (SPC) кеңінен қолданылады. Егер процесте келеңсіздік бар деп санауға негіз болса, мәселені табу және түзету үшін оны тоқтатуға болады [9]. SPC маңыздылығы бір үлгіні тексеру ғана емес, сонымен қатар белгілі бір уақыт аралығындағы тұрақтылықты бақылау болып табылады. Бұған механизмнің дұрыс жұмыс істеп тұрғанын немесе «бақылаудан тыс» екенін бағалауға мүмкіндік беретін бақылау карталарын пайдалану арқылы қол жеткізіледі. Бақылау карталары өндірісте және процесті жетілдіруде «алты сигма» және жалпы сапаны басқару сияқты әдістемелерде бұрыннан қолданылған [10].

Тамақ өнеркәсібінде, әсіресе өсімдік майын өндіруде сапаны басқарудың заманауи тәсілдері болып саналатын статистикалық талдау және бақылау әдістерін енгізу талап етіледі. Өсімдік майын өндіруде өнімді әзірлеу және өткізуден кейін тұтынушыларға қызмет көрсету кезінде тұтынушылардың талаптарын ескеру қажет. Өсімдік майын өндіруде өндірілетін өнімді сатып алушылардың талаптарын қанағаттандыратын және олардың функционалдық ерекшеліктерін ескеретіндей етіп ұйымдастырылуы маңызды [11]. Өсімдік майларының сапасын қалыптастыратын факторларға шикізат пен өндіріс технологиясы жатады [12].

Өсімдік майының қажетті сапасының деңгейін бақылау өндірістік циклдің барлық кезеңдерінде жүзеге асырылады: түсетін шикізаттың кіріс бақылауы, технологиялық процестің барлық кезеңдеріндегі бақылау және дайын өнімнің шығыс бақылауы [9].

Өсімдік майларын, атап айтқанда мақта майын өндіру шикізатты өңдеудің барлық кезеңдерінде қатаң сапаны бақылауды қажет ететін және оның әрбір кезеңінде өнімнің соңғы сапасына әсер ететін ауытқулар орын алуы мүмкін көп сатылы процесс. Кәсіпорынның өмір сүру мәселелері арасындағы қатал бәсекелестік жағдайында қазіргі заманғы жағдайда шығарылатын өнімнің сапасы басты және шешуші мәселе болып табылады. Өсімдік майының тұтынуға жарамдылығын анықтайтын маңызды сапа көрсеткіштерінің бірі – триглицеридтердің гидролиз дәрежесіне тікелей байланысты және майдың тағамға жарамдылығын анықтайтын қышқыл саны [11]. Қышқыл санының жоғарылауы жеткіліксіз тазартуды немесе шикізатты сақтау және өңдеу шарттарын бұзуды көрсетуі мүмкін. Әртүрлі кезеңдердегі қышқыл санының тұрақтылығы технологиялық процестің тұрақтылығы мен қайталануының маңызды көрсеткіші болып табылады.

Қазіргі заманғы азық-түлік өндірісі жағдайында технологиялық процестердің тұрақтылығын бағалаудың дәл және уақытылы әдістеріне қажеттілік артып отыр. Қышқыл санының тұрақтылығын бағалау әдістемесін қолдану өнім сапасын объективті бақылауды жеңілдете отырып тамақ өнімдерінің қауіпсіздігіне қатысты ГОСТ 1129-2013 және ISO 22000:2018 халықаралық нормалары сияқты стандарттар талаптарына сәйкестіктің алғышарты болып табылады. Статистикалық бақылауды ендірудің ғылыми негіздемесі ақауларды азайтуда және процестердің қайталану мүмкіндігін арттыруда SPC жүйелерінің жоғары тиімділігін көрсететін көп жылдық зерттеулердің нәтижелерімен расталады [4]. Статистикалық процестерді басқарудың заманауи әдістері (Statistical Process Control, SPC) технологиялық операциялардың ағымдағы тұрақтылығын бағалауға ғана емес, сонымен қатар ақаулардың алдын алу және процестерді оңтайландыру үшін өте маңызды статистикалық бақылаудан шығатын ауытқуларды анықтауға мүмкіндік береді [13].

Осылайша, мақта майы өндірісіндегі қышқыл санының тұрақтылығын талдау және басқару кәсіпорынның бәсекеге қабілеттілігіне, өнім қауіпсіздігіне және тұтынушылардың сеніміне тікелей әсер ететін маңызды міндет болып табылады.

Алынған өнімнің сапасын арттыру үшін ақауларды жедел анықтауға ғана емес, сонымен қатар олардың алдын алу бойынша түзету шараларын жасауға мүмкіндік беретін мәліметтерді өңдеудің статистикалық әдістерін де қолдану қажет [14].

Өсімдік майларын өндірудегі технологиялық процестердің параметрлерін статистикалық модельдеу және бақылау өнімнің тұрақты сапасын қамтамасыз ету мен өндірістік шығындарды оңтайландыру үшін қажет. Процестердің тұрақтылығын және өнім сапасын басқаруды қамтамасыз етудің тиімді құралдарының бірі статистикалық бақылау әдістерін қолдану болып табылады. Бақылау карталары (мысалы, X және MR), технологиялық процестің жарамдылығын талдау (Cp, Cpk, Pp, Ppk), қалыпты ықтималдық графиктері және гистограммалар тұрақсыз өндіріс аймақтарын уақтылы анықтауға, технологиялық режимдерді реттеу бойынша негізделген шешімдер қабылдауға және талаптарға сәйкес келмейтін өнімдерді шығаруды болдырмауға мүмкіндік береді [14].

Бұл мақалада технологиялық процестің зерттелуі келтіріліп, негізгі көрсеткіштердің бірі – қышқылдық саны бойынша тұрақтылықты бағалаудағы бақылау карталары мен жарамдылық индексін қолданумен «Шымкент» АҚ кәсіпорнында технологиялық процесті статистикалық

бақылау (SPC) қарастырады. «Шымкентмай» АҚ мақта шитін өңдеуге және тазартылған дезодорацияланған май өндіруге маманданған Қазақстандағы жетекші өсімдік майын өндіретін кәсіпорындардың бірі болып табылады. Өткізу нарықтарының кеңеюіне және ұлттық және халықаралық сапа стандарттарын сақтау қажеттілігіне байланысты кәсіпорында статистикалық процестерді бақылау (SPC) әдістері енгізілуде [15].

Статистикалық әдістерді қолданудың негіздемесі процесс жағдайы мен нәтижелерінің өзгермелілігіне байланысты. Сандық талдау проблемалардың ықтималдығын жою немесе азайту үшін процестің өзгермелілігінің сипатын, дәрежесін және себептерін түсінуге көмектеседі [16].

Статистикалық әдістер өнімдер мен процестердің сапасын жақсарту бойынша шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді, осылайша тұтынушылардың қанағаттануына ықпал етеді [17].

Осы зерттеудің мақсаты – X және MR типті бақылау карталарын пайдалана отырып, дезодорация, ағарту және вакуумдау кезеңдеріндегі қышқыл санын талдау негізінде мақта майын өндірудің технологиялық процесін статистикалық модельдеу және тұрақтылығын бағалау. Зерттеу объектісі – «Шымкентмай» АҚ тазартылған мақта майын өндірудің технологиялық процесі. Зерттеу элементі өсімдік майын өндірудің әртүрлі кезеңдеріндегі қышқылдық саны көрсеткішінің тұрақтылығы болып табылады.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Талдау үшін өңдеудің негізгі кезеңдеріндегі сапа параметрлерін өлшеуді қоса алғандағы 2024 жылға арналған өндірістік деректер пайдаланылды. Келесідегідей өндіріс кезеңдері талданды: престеу, вакуумда кептіру, ағарту, дезодорация. Деректер осы кезеңдерден кейінгі қышқыл саны сияқты көрсеткіштерді бақылау нәтижелері болды. Қышқыл саны кәсіпорын зертханасында ГОСТ 31759-2012 және ИСО 660:2020 бойынша титриметриялық әдіспен процестің әрбір сатысында өлшенді. Талдау Microsoft Excel бағдарламасын және карталар мен есептеулерді салуға арналған арнайы SPC модулін қолдану арқылы жүзеге асырылды. Бастапқы деректер сапаны бақылаудың зертханалық хаттамаларында және өндіріс журналдарында қамтылған.

Зерттеу барысында статистикалық деректерді өңдеуге, бақылау карталарын құруға, жарамдылығын талдауға және үлестірімдерді бағалауға арналған STATISTICA v.10 бағдарламалық құралы пайдаланылды. Технологиялық процестің тұрақтылығы X (орташа мәндер) және MR (бақылаулар арасындағы өзгеру амплитудасы) жеке бақылау диаграммалары негізінде бақыланды, бұл өсімдік майын өңдеудің әрбір кезеңінде процестердің тұрақтылығын анықтауға мүмкіндік берді [18]. Талдау үшін деректер нақты уақыт режимінде диспетчерлік бақылау және процесс параметрлерін жинау үшін «Шымкентмай» АҚ кәсіпорнында қолданылатын интеграцияланған SCADA жүйесі арқылы жиналды. Жүйе өндірістің негізгі кезеңдерінде қышқыл санын қоса алғанда, көрсеткіштердің автоматтандырылған мониторингін қамтамасыз етеді және деректерді тікелей аналитикалық модульдерге жібереді. Бұл адам факторын жою арқылы талдаудың дәлдігі мен сенімділігін арттырады және ауытқуларға жедел әрекет етуге мүмкіндік береді [7]. Талдау өндірістің үш негізгі кезеңін қамтыды: вакуумдау, ағарту және дезодорация. Әрбір кезең үшін кем дегенде 100 қатарынан бақылау кезеңі үшін қышқыл саны туралы өндірістік бақылаудан деректер жиналды. Карта параметрлері стандартты әдіспен есептелді: орталық сызық (CL), жоғарғы және төменгі бақылау шектері (UCL

және LCL), сигманың стандартты ауытқуы және үлгілердің орташа мәндері негізінде анықталады [19]. Қосымша Cp, Cpk, Pp және Ppk критерийлері бойынша процестің белгіленген рұқсат етілулеріне сәйкестігін бағалауға мүмкіндік беретін (Capability Analysis) жарамдылық графигі пайдаланылды. Сонымен қатар таралу гистограммалары мен қалыпты ықтималдық графиктері таралу қалыптылығын тексеру және шығарындыларды визуалды бақылау үшін де пайдаланылды [20]. Барлық есептеулер мен визуалды бақылау, алынған нәтижелердің қайталануы мен сенімділігін қамтамасыз ететін интеграцияланған STATISTICA ортасында орындалды. Бағдарламада «Өндірістік статистика» қойындысы бар, ол өндірістік деректерінің үлкен көлемін талдауға мүмкіндік береді.

Жұмыс процесінде параметрлердің орташа мәндерін және олардың уақыт бойынша өзгермелілігін бақылауға мүмкіндік беретін X және MR типті бақылау карталары қолданылды. MR диаграммаларын қолдану іріктеменің кішігірім мөлшерімен немесе жеке өлшемдермен негізделеді [21], бұл өсімдік майы өндірісіндегі технологиялық бақылау шарттарына сәйкес келеді.

Процесс сипаттамалардың белгіленген талаптарға (рұқсат етілген) сәйкестігін бағалау үшін келесі коэффициенттер есептелді:

– Cp, Cpk – ішкі шашырауға қатысты процестің жарамдылығы;

– Pp, Ppk – жалпы шашырауды ескергендегі процестің жарамдылығы.

Бұл көрсеткіштердің рұқсат етілген мәндері ГОСТ Р ISO 22514-1-2013 [15] ұсыныстарына сәйкес келеді. Cpk < 1,33 деңгейі сыни болып саналады, бұл процестің жеткіліксіз жарамдылығын көрсетеді және түзету әрекеттерін талап етеді.

Осы жұмыста зерттеулер статистикалық әдістерді (ГОСТ Р ИСО/ТО 10017-2005) қолдану арқылы жүргізілді: сипаттамалық статистика, гипотезаны тексеру, «процесс-сипаты» диаграммасын құру және процестің мүмкіндіктерін талдау.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Зерттеу барысында технологиялық процестің барлық негізгі кезеңдерінде мақта майының қышқылдық саны (қ.с.) мәндері талданды: бастапқы майды қабылдаудан бастап дайын өнімді дезодорацияланған тазартылған майды шығаруға дейінгі. Есептер мен визуалды бақылау [1,4] стандарттардың талаптарына сәйкес STATISTICA v8 көмегімен орындалды.

Визуалды бақылау X және MR типті бақылау диаграммалары арқылы жүзеге асырылды:

– Қышқыл санына арналған X картасы барлық мәндер бақылау шегінде болатын «ағарту» және «дезодорация» кезеңдерінде процестің тұрақты жұмысын көрсетті.

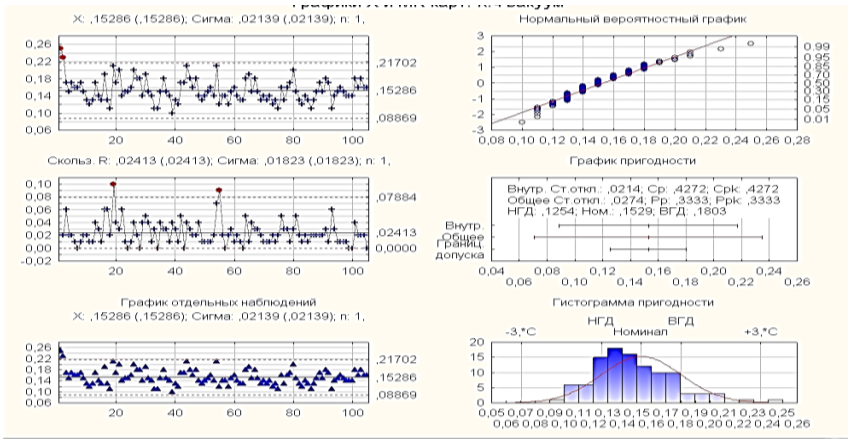
– «Вакуумдау» кезеңінде жоғарғы бақылау шегінің бір рет асып кетуі байқалды, бұл температура режимінің бұзылуын немесе шикізаттың тұрақсыздығын көрсетуі мүмкін.

– MR диаграммасы өлшемдердің жоғары қайталану мүмкіндігін растады, өйткені өлшемдер арасындағы таралу рұқсат етілген шектерде қалды (1, 2-суреттер).

Сонымен қатар, дезодорация кезеңі үшін технологиялық жарамдылық индексі (Cpk) есептелді. Оның мәні Cpk = 1,42 болды, бұл ГОСТ Р ISO 22514-1-2013 [4] бойынша тұрақты және қолайлы процеске сәйкес келеді.

1-суретте қышқылдық саны көрсеткіштері бойынша тазартылмаған және дезодорацияланбаған мақта майын талдау нәтижелері көрсетілген.

СТАТИСТИКА бағдарламасын пайдалана отырып келесілер тұрғызылды: уақыттық қатарлар, гистограмма, Шухарт карталары, процестің жарамдылығын бағалау.



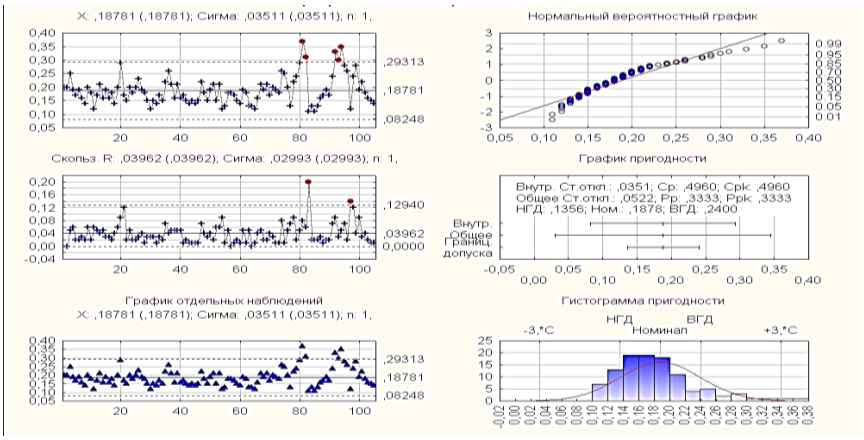
Сурет 1. Вакуумдау сатысындағы қышқыл санының X және MR бақылау карталары

1-суреттен көріп отырғанымыздай мақта «Вакуумдау» кезеңінде Орталық мәні ($\bar{X}$): 0,15286, Сигма: 0,02139, MR: 0,02413, Ср 0,274, Срk 0,333-ке тең. Рұқсат етілудің төменгі шекарасы 0,1254, рұқсат етілудің жоғары шекарасы 0,1803 екенін көреміз. X бақылау картасында бақылау шегінен тыс нүктелер бар (мысалы, 10 және 45 бақылаулар бойынша). Сигма мен MR дезодорацияға қарағанда жоғары – процесс тұрақтылығы төмен.

Жарамдылық графигі: Ср = 0,274, Срk = 0,333 – өте төмен мәндер, процесс талаптарды толығымен қанағаттандыра алмайды.

Қорытынды: процестің өзгермелілігі рұқсат етілген мәндерден айтарлықтай асып түседі, гистограммада мәндердің таралуы бар.

Ағарту сатысындағы Шухарттың бақылау карталары 2-суретте көрсетілген.

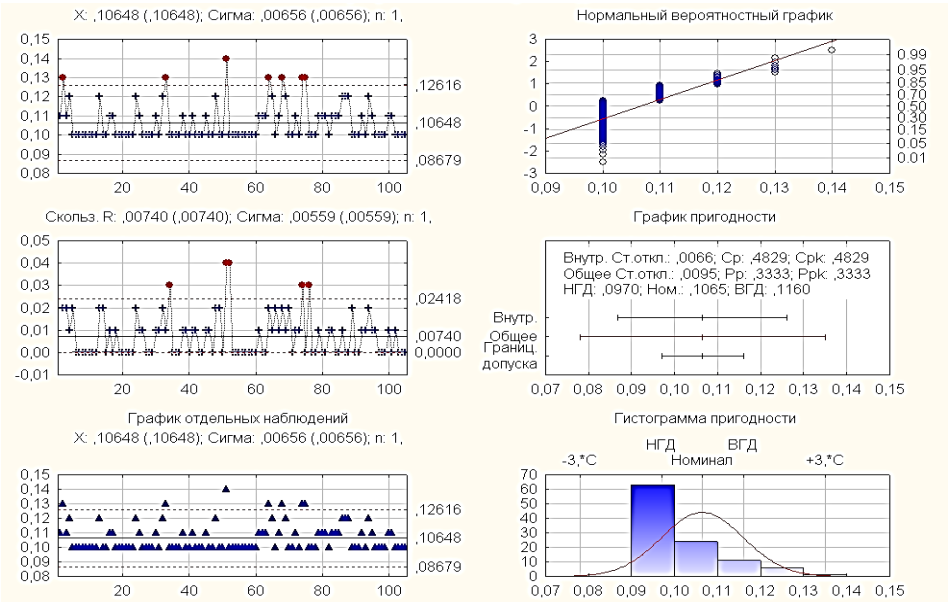


Сурет 2. Ағарту сатысындағы қышқылдық мәнге арналған X және MR бақылау карталары

2-суреттен бұл кезеңде орталық мән (X̄): 0,18781, Сигма**:** 0,03511, MR: 0,0396, Cp 0,522, Cpk 0,333 екенін көруге болады. Рұқсат етілудің **т**өменгі шекарасы – 0,1356, рұқсат етілудің жоғары шекарасы – 0,2400. Бақылау картасы X: Бірнеше айқын ауытқулар, әсіресе бақылаулардың соңында. Процесс тұрақсыз, ауытқу амплитудасы жоғары.

Жарамдылық графигі: Cp = 0,522, Cpk = 0,333 – сәл жоғары, бірақ әлі де рұқсат етілген минимумнан төмен (1,33). Вариация рұқсат етілген шегінен асып түседі, деректерді таратуда күшті асимметрия бар. Қорытынды: процесс тұрақсыз, жиі ауытқулар байқалады, әсіресе соңғы бақылауларда. Cp 1,33 рұқсат етілген мәннен төмен.

Дезодорация сатысындағы Шухарттың бақылау карталары 3-суретте көрсетілген.



Сурет 3. Дезодорация сатысындағы қышқылдың мәні үшін X және MR бақылау карталары

3-суретке сүйене отырып, дезодорацияның осы кезеңінде орталық мәні (X̄): 0,106486, Сигма: 0,00566, MR (жылжымалы ауқымы): 0,00740 екенін көруге болады. Параметр мәндері: Орташа (X̄) = 0,106486, Сигма = 0,005666, MR (ауқымы) = 0,00740. Cp = 0,9056, Cpk = 0,333. Рұқсат етілудің **т**өменгі шекарасы = 0,09706, рұқсат етілудің жоғары шекарасы = 0,1160

Бақылау картасы X: Бірнеше нүктелер (қызыл маркерлер) бақылау шегінен тыс, әсіресе шамамен 20, 40 және 60 бақылаулар. Бұл процестің тұрақтылығын бұзатын вариацияның ерекше себептері бар екенін көрсетеді.

Жарамдылық графигі: Cp = 0,905, Cpk = 0,333 – мәндер төмен, процесс қолайлы емес, өйткені ол рұқсат етілген шегінде тұрақтылықты қамтамасыз етпейді. Вариацияның ені рұқсат етілген шектен асады: НГД = 0,0970, ВГД = 0,1160, Номиналды = 0,1065.

Қорытынды: процесс ішінара тұрақты, бірақ жарамдылық индексінің төмен болуы Cpk < өнімнің рұқсат етілген шегінен шығу қаупінің жоғары екенін көрсетеді.

«Шымкентмай» АҚ мақта майын өндірудің технологиялық процесін статистикалық талдау нәтижесінде алынған нәтижелер негізгі сапа көрсеткіштеріне бақылаудың жалпы қанағаттанарлық жағдайын көрсетуі мүмкін. Дегенмен, жекелеген кезеңдерде анықталған ауытқулар бөлек қарастыруды және түзету шараларын талап етеді.

STATISTICA ортасында құрастырылған X және MR бақылау карталарының негізінде мақта майын өндірудің технологиялық процесінің тұрақтылығы үш негізгі кезеңде: вакуумдау, ағарту және дезодорациялау кезінде қышқыл саны бойынша талданды. Әрбір кезең стандартты ауытқудың өзіндік деңгейімен және қышқылдық сан мәндерінің өзгергіштік деңгейімен сипатталады.

Вакуумдық кезеңде (1-сурет) қышқылдың орташа саны 0,15286, σ = 0,02139 болды. Талдау бақылау шегінен тыс жеке шығулардың болуын көрсетеді, бұл жеке нүктелердегі тұрақсыздықты көрсетеді, бірақ жалпы құрылым рұқсат етілген бақылау шегінде қалады. Процесс тұрақты, көптеген нүктелер ±3σ шегінде. Процестің жарамдылық коэффициенттері: Cp = 4,272, Cpk = 4,272, бұл технологиялық процестің жоғары жарамдылығын көрсетеді [7].

Ағарту сатысында (2-сурет) неғұрлым айқын тұрақсыздық байқалады. Қышқыл санының орташа мәні 0,18781, ал σ = 0,03511 жетеді. Нүктелердің айтарлықтай саны бақылау шегінен асып түседі, бұл процесс параметрлерін реттеу қажеттілігін көрсетеді. Cp = 4,960, бірақ Cpk = 0,4960 – рұқсат етілудің орталығына қатысты процестің ығысуының болуы. Елеулі ығысу бар, төменгі бақылау шегі жиі асып кетеді. [8].

Дезодорация сатысында (3-сурет) процесс ең тұрақты сипаттамаларды көрсетеді. Орташа мән 0,10648, σ = 0,00656. Көптеген нүктелер бақылау шегінде, ауытқулар аз. Cp және Cpk – 4,829, бұл процестің қышқыл санын қажетті шектерде ұстауға жоғары қабілетін растайды. Кезеңдер арасындағы ең жақсы тұрақтылық.

Қалыпты ықтималдық графиктерін талдау барлық үш кезең үшін деректердің таралуының қалыптылығын растайды, бұл қалыпты заң негізінде басқару параметрлерін дұрыс қолдануға мүмкіндік береді. Жарамдылық гистограммалары процестердің белгіленген рұқсаттарға сәйкестігін де көрсетеді.

Осылайша, дезодорация процесі ең үлкен тұрақтылықпен сипатталатыны анықталды, ал ағарту кезеңі қосымша назар аударуды және түзету шараларын қажет етеді. SPC әдістерін қолдану маңызды нүктелерді анықтауда және технологиялық процестің сапасын басқаруда тиімділігін дәлелдеді.

Қорытынды. «Шымкентмай» АҚ деректері негізінде жүргізілген статистикалық модельдеу қышқылдық сан көрсеткіші бойынша мақта майын өндірудің технологиялық процесінің тұрақтылығын объективті бағалауға мүмкіндік берді:

1. X және MR жеке бақылау карталарын қолдану дезодорация процесінің ең жоғары тұрақтылыққа ие екендігін анықтауға мүмкіндік берді, бұл қышқылдар санының минималды ауытқуларымен және жарамдылық индекстерінің жоғары мәндерімен расталады (Cp және Cpk> 4,8).

2. Вакуумдау сатысында бақылау шегінен асатын жеке нүктелер анықталғанымен, процесс жалпы басқарылады. Cp және Cpk көрсеткіштері де жеткілікті жарамдылықты көрсетеді.

3. Ағарту сатысы түзету әрекеттерін талап етеді, өйткені қышқыл санының ауытқуы бақылау шегінен тыс, ал Cpk Cp-ден айтарлықтай төмен, бұл процестің ығысуын көрсетеді.

4. SPC және STATISTICA пакетін пайдалану технологиялық процестердің тұрақтылығын диагностикалау және басқару құралы ретінде өзінің тиімділігін дәлелдеді.

Алынған нәтижелер өндіріс параметрлерін оңтайландыру, ысыраптарды азайту және түпкілікті өнімнің сапасын жақсарту үшін пайдаланылуы мүмкін.

Ұсыныстар:

– Ағарту процесінің параметрлері мен шарттарын, соның ішінде температураны, өңдеу уақытын және көмекші заттардың мөлшерін жүйелі түрде тексеру.

– Төзімділік шегінен асып кетпес бұрын ауытқуларды анықтау үшін бақылау карталарын талдау негізінде алдын ала ескерту жүйесін (Early Warning System) енгізу.

– Тұрақсыздықтың алғашқы белгілеріне әрекетті жақсарту үшін технологтар мен операторларды SPC принциптеріне және Шухарт диаграммасын түсіндіруге үйрету.

– Зауыттың SCADA жүйесіне интеграцияланған қышқыл санының автоматтандырылған мониторингін орнату.

– STATISTICA-ны процестің жарамдылығын талдау, болжау және оңтайландыру үшін негізгі құрал ретінде пайдалануды жалғастыру.

– Ауытқуларға жедел әрекет ету үшін бақылау карталарын автоматты түрде жасау арқылы онлайн бақылауды енгізуді ұсыныңыз.

Осылайша, объективті деректерге негізделген статистикалық процесті бақылау әдістерін қолдану тұрақсыз аймақтарды анықтауға ғана емес, сонымен қатар өндірісте үздіксіз жетілдіру мәдениетін қалыптастыруға мүмкіндік береді және өндірістік тәртіпті арттыруға, өзгермелілікті азайтуға және өнімнің халықаралық қауіпсіздік пен сапа талаптарына сәйкестігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Осылайша, сапаны басқарудың статистикалық әдістері өнімді үздіксіз бақылаудан артықшылықтарға ие, өйткені олар технологиялық процестегі ауытқуларды жедел анықтауға мүмкіндік береді [22].

Әдебиеттер тізімі

1. Прохоров, Ю.К. Управление качеством [Текст]: учебное пособие / Ю.К. Прохоров. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, 2007. – 144 с.
2. Рахимова, С. Роль инноваций и инновационного процесса в развитии пищевой промышленности [Текст] / С. Рахимова //International Journal of Innovative Technologies in Economy. – 2018. – Т. 6. – № 18. https://doi.org/10.31435/rsglobal_ijite/01072018/5938.
3. Свойкин, В.Ф. Статистические методы и контроль качества продукции [Текст]: учебное пособие / В.Ф. Свойкин, Н.В. Белозёрова, Е.Н. Сивков [и др.]. – Сыктывкар: Сыктывкарский лесной институт, 2012. – 64 с.
4. Смирнова Н.А. Современные системы управления качеством и безопасностью пищевых продуктов [Текст] / Н.А. Смирнова, А.А. Смирнов // Пищевая промышленность. – 2015. – № 11.
5. Jiang W., Murphy T., Tsui K. L. Statistical methods for quality and productivity improvement //Springer Handbooks. – Springer, 2006. – P. 173-192. https://doi.org/10.1007/978-1-84628-288-1_10

6. Спеваков, Р.В. Применение статистических методов в управлении качеством [Текст] / Р.В. Спеваков //Теория и практика современной науки. – 2024. – № 12 (114).
7. Czarski A., Satora K., Matusiewicz P. Statistical methods in quality management-process capability analysis //Metallurgy and foundry engineering. – 2007. – Vol. 33. – P. 121-128. https://doi.org/10.7494/mafe.2007.33.2.121.
8. Fitzsimmons J.A., Fitzsimmons M.J. Service management: operations, strategy, and information technology. – Boston: McGraw-Hill/Irwin, 2011. – 541 p.
9. Bamford D., Forrester P., Reid I. Essential guide to operations management: Concepts and case notes. – Routledge, 2023. https://doi.org/10.4324/9781003314998.
10. Shrestha N. Application of statistical process control chart in food manufacturing industry // International Journal of Engineering, Business and Management. – 2020. – Vol. 4(5). https://doi.org/10.22161/ijebm.4.5.2.
11. Kleymenova N., Nazina L., Bolgova I., Pegina A., Orlovseva O. Quality control in the production process of sunflower oil // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 845. – P. 012111. https://doi.org/10.1088/1755-1315/845/1/012111.
12. Смолякова В.Л. Влияние качества сырья на качество растительного масла [Текст] / В.Л. Смолякова, А.П. Крылова // Современные инновации. – 2017. – № 8 (22).
13. Montgomery D.C. Introduction to statistical quality control. – 8th ed. – Hoboken: Wiley, 2019. – 768 p.
14. Ebrahimian E., Seyyedi S.M., Bybordi A., Damalas C.A. Seed yield and oil quality of sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability //Agricultural Water Management. – 2019. – Vol. 218. – P. 149-157.
15. ГОСТ Р 22514-1–2015. Статистические методы. Управление процессами. Часть 1. Общие принципы [Текст]. – Введ. 2016–07–01. – М.: Стандартинформ, 2016.
16. Winkler W.E. Methods for evaluating and creating data quality // Information Systems. – 2004. – Vol. 29. – No. 7. – P. 531-550.
17. Wood M. Statistical methods for monitoring service processes // International Journal of Service Industry Management. – 1994. – Vol. 5. – No. 4. – P. 53-68.
18. Ивашкевич, Н.В. Методы контроля и управления качеством продукции [Текст] / Н.В. Ивашкевич, Ю.В. Борисова. – М.: Форум, 2019. – 256 с.
19. ISO 8258:1991. Shewhart control charts.
20. Румянцева, З.П. Статистические методы в управлении качеством [Текст] / З.П. Румянцева, И.Н. Воронин. – М.: Инфра-М, 2017. – 312 с.
21. Шпер, В.Л. Контрольные карты Шухарта – простой, но не лёгкий для применения инструмент анализа данных [Текст] / В.Л. Шпер, С.А. Шереметьева, В.Ю. Смелов, Е.И. Хунузиди // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2024. – Т. 67. – № 1. – С. 121-131. https://doi.org/10.17073/0368-0797-2024-1-121-131.
22. Смирнова, Н.А. Применение статистических методов управления качеством в производстве пищевых продуктов [Текст] / Н.А. Смирнова, Г.М. Копылов, С.В. Борисенко // Евразийский союз ученых. – 2014. – № 6-3.

Материал редакцияға 28.08.25 түсті, 16.02.26 қабылданды.

А.Е. Отуншиева[1], С.А. Болегенова[1], С.С. Ветохин[2], А.Н. Никитенко[2], Ж.К. Шортанбаева[1]

[1]Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан
[2]Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь

СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ХЛОПКОВОГО МАСЛА ПО ПОКАЗАТЕЛЮ КИСЛОТНОГО ЧИСЛА НА ПРИМЕРЕ АО «ШЫМКЕНТМАЙ»

Аннотация. В данной статье представлены результаты статистического моделирования, проведённого с целью оценки стабильности технологического процесса производства хлопкового масла на предприятии АО «Шымкентмай». В качестве основного объекта исследования выбран показатель кислотного числа, который является ключевым параметром, напрямую влияющим на качество и срок годности растительного масла. Контроль стабильности процесса осуществлялся с использованием контрольных карт Шухарта. Кроме того, были рассчитаны индексы способности процесса Cp и Cpk, которые сопоставлялись с фактическими производственными данными. На основании полученных результатов была выявлена степень и характер отклонений на различных стадиях производства (отжим, фильтрация, вакуумная сушка), что позволило определить влияние отдельных режимов на стабильность качества. Внедрение методов статистического контроля позволило повысить устойчивость процесса, обеспечить стабильность качества продукции и соответствие требованиям национального (СТ РК) и международного (ISO 660) стандартов. Среднее значение кислотного числа в диапазоне 0,30-0,32 мг КОН/г подтвердило соответствие продукции нормативным требованиям. В статье также даны конкретные рекомендации по оптимизации технологического процесса: контроль качества сырья, стабилизация температурных режимов и повышение квалификации персонала. Эти меры направлены на повышение надёжности и безопасности продукции, а также на укрепление доверия потребителей.

Ключевые слова: хлопковое масло, кислотное число, статистический контроль, контрольные карты, стабильность процесса, SCADA, управление качеством.

A.E. Otunshiyeva[1], S.A. Bolegenova[1], S.S. Vetokhin[2], A.N. Nikitenko[2], Zh.K. Shortanbayeva[1]

[1]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
[2]Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus

STATISTICAL MODELLING AND EVALUATION OF THE STABILITY OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF COTTON OIL PRODUCTION BY ACID NUMBER INDICATOR ON THE EXAMPLE OF «SHYMKENTMAY» JSC

Abstract. This article presents the results of statistical modeling conducted to assess the stability of the cotton oil production process at «Shymkentmay» JSC. The main focus of the study was the acid value, a key parameter that directly affects the quality and shelf life of vegetable oil. Process stability was monitored using Shewhart control charts. Additionally, process capability indices Cp and Cpk were calculated and compared with actual production data. Based on these metrics, the nature and extent of process variations at various stages (pressing, filtration, vacuum drying) were identified, allowing the influence of specific operational modes on product quality to be determined. The

introduction of statistical control methods improved process stability, ensured consistent quality, and confirmed compliance with national (ST RK) and international (ISO 660) standards. The average acid value of 0.30-0.32 mg KOH/g indicated conformity with regulatory requirements. The article also provides practical recommendations for process optimization, such as raw material quality control, stabilization of temperature regimes, and staff training. These measures aim to enhance product reliability and safety while strengthening consumer confidence.

Keywords: cottonseed oil, acid value, statistical control, control charts, process stability, Cp, Cpk, SCADA, quality management.

References

1. Prokhorov Yu.K. Upravlenie kachestvom [Quality management]: textbook. – Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 2007. – 144 p. [in Russian].
2. Rakhimova S. Rol' innovatsii i innovatsionnogo protsessa v razvitii pishchevoi promyshlennosti [The role of innovation and the innovation process in the development of the food industry] //International Journal of Innovative Technologies in Economy. – 2018. – Vol. 6. – No. 18. https://doi.org/10.31435/rsglobal_ijite/01072018/5938.
3. Svoikin V.F., Belozerova N.V., Sivkov E.N. et al. Statisticheskie metody i kontrol' kachestva produktsii [Statistical methods and product quality control]: textbook. – Syktyvkar: Syktyvkar Forest Institute, 2012. – 64 p. [in Russian].
4. Smirnova N.A., Smirnov A.A. Sovremennye sistemy upravleniya kachestvom i bezopasnost'yu pishchevykh produktov [Modern systems of quality and food safety management] // Food Industry. – 2015. – No. 11. [in Russian].
5. Jiang W., Murphy T., Tsui K.L. Statistical methods for quality and productivity improvement //Springer Handbooks. – Springer, 2006. – P. 173–192. https://doi.org/10.1007/978-1-84628-288-1_10.
6. Spevakov R.V. Primenenie statisticheskikh metodov v upravlenii kachestvom [Application of statistical methods in quality management] // Theory and practice of modern science. – 2024. – No. 12 (114). [in Russian].
7. Czarski A., Satora K., Matusiewicz P. Statistical methods in quality management – process capability analysis // Metallurgy and Foundry Engineering. – 2007. – Vol. 33. – P. 121–128. https://doi.org/10.7494/mafe.2007.33.2.121.
8. Fitzsimmons J.A., Fitzsimmons M.J. Service management: operations, strategy, and information technology. – Boston: McGraw-Hill/Irwin, 2011. – 541 p.
9. Bamford D., Forrester P., Reid I. Essential guide to operations management: Concepts and case notes. – Routledge, 2023. https://doi.org/10.4324/9781003314998.
10. Shrestha N. Application of statistical process control chart in food manufacturing industry // International Journal of Engineering, Business and Management. – 2020. – Vol. 4(5). https://doi.org/10.22161/ijebm.4.5.2.
11. Kleymenova N., Nazina L., Bolgova I., Pegina A., Orlovseva O. Quality control in the production process of sunflower oil // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 845. – 012111. https://doi.org/10.1088/1755-1315/845/1/012111.
12. Smolyakova V.L., Krylova A.P. Vliyanie kachestva syr'ya na kachestvo rastitel'nogo masla [Influence of raw material quality on vegetable oil quality] // Sovremennye innovatsii. – 2017. – No. 8 (22). [in Russian].
13. Montgomery D.C. Introduction to statistical quality control. – 8th ed. – Hoboken: Wiley, 2019. – 768 p.
14. Ebrahimian E., Seyyedi S.M., Bybordi A., Damalas C.A. Seed yield and oil quality of sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability // Agricultural Water Management. – 2019. – Vol. 218. – P. 149-157.

15. GOST R 22514-1–2015. Statisticheskie metody. Upravlenie protsessami. Chast' 1. Obshchie printsipy [Statistical methods. Process management. Part 1. General principles]. – Introduced. 2016–07–01. – Moscow: Standartinform, 2016. [in Russian].
16. Winkler W.E. Methods for evaluating and creating data quality // Information Systems. – 2004. – Vol. 29. – No. 7. – P. 531-550.
17. Wood M. Statistical methods for monitoring service processes // International Journal of Service Industry Management. – 1994. – Vol. 5. – No. 4. – P. 53-68.
18. Ivashkevich N.V., Borisova Yu.V. Metody kontrolya i upravleniya kachestvom produktsii [Methods of product quality control and management]. – Moscow: Forum, 2019. – 256 p. [in Russian].
19. ISO 8258:1991. Shewhart control charts.
20. Rumyantseva Z.P., Voronin I.N. Statisticheskie metody v upravlenii kachestvom [Statistical methods in quality management]. – Moscow: Infra-M, 2017. – 312 p. [in Russian].
21. Shper V.L., Sheremetyeva S.A., Smelov V.Yu., Khunuzidi E.I. Kontrol'nye karty Shukharta – prostoi, no ne legkii dlya primeneniya instrument analiza dannykh [Shewhart control charts – a simple but not easy-to-use data analysis tool] // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Chernaya metallurgiya. – 2024. – Vol. 67. – No. 1. – P. 121–131. https://doi.org/10.17073/0368-0797-2024-1-121-131. [in Russian]
22. Smirnova N.A., Kopylov G.M., Borisenko S.V. Primenenie statisticheskikh metodov upravleniya kachestvom v proizvodstve pishchevykh produktov [Application of statistical quality management methods in food production] // Eurasian Union of Scientists. – 2014. – No. 6-3. [in Russian].

ҒТАМР 65.59.29

А.Қ. Құрманбекова[1] – *негізгі автор*,
А.М. Таева[2], И.М. Чернуха[3],
Б.Ш. Джетписбаева[4], Н.Қ. Абильмажинова[5]

[1]Магистр, [2]Техн. ғылым. д-ры, профессор,
[3]РҒА академигі, техн. ғылым. д-ры, профессор,
[3]Ауыл шаруашылығы ғылым. канд, қауымдас. профессор, [5]PhD

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0003-0520-1947 [2]https://orcid.org/0000-0001-6663-4282*
[3]https://orcid.org/0000-0003-4298-0927 [4]https://orcid.org/0000-0002-0792-3903
[5]https://orcid.org/0000-0001-7398-2242

[1,2,4,5]Алматы Технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан
[3]«В. М. Горбатов атындағы тағам жүйелерінің ФҒО» ФМБҒМ, Мәскеу, Ресей

@ *[1]akma3108@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/SNTV4002

ТАҒАМДЫҚ ТАЛШЫҚТАР ҚОСЫЛҒАН ЖАРТЫЛАЙ ЕТ ФАБРИКАТТАРЫНЫҢ ТҮС КӨРСЕТКІШТЕРІН АНЫҚТАУ

Аңдатпа. Құс еті және алма жомы ұнтағын пайдалана отырып жартылай ет фабрикаттары дайындалды. Дайын өнімді зерттеу нәтижесінде бақылау және тәжірибелік үлгілердің түс сипаттамалары *L* (ашықтығы), а (қызылдығы) және *b*(сары түсі) сақтау процесінде зерттелді, сондай-ақ жартылай дайын ет өнімдерінің жалпы түсі анықталды. Алынған нәтижелер негізінде сақтау процесі барысында түс тұрақтылығының көрсеткіштерінің L* (ашықтық) мәні 5 %, 10%, 15%, 20%,25%, 30% көбейген сайын жоғарылады (мысалы, 84.6 ± 1.28-ден 91.5 ± 1.46-ға дейін), бұл пигменттер мен талшықтың өзара әрекеттесуіне байланысты өзгеріп отырады. Ал а* (қызыл түс) көрсеткіші 11.5 ± 0.11-ден 7.74 ± 0.28-ге дейін біршама төмендегенін байқаймыз. b* (сарғыш түс) үлестік мәні бастапқыда жоғары болса да 33.8 ± 0.37-ден 26.1 ± 0.23-ке дейін алма ұнтағы мөлшерінің артуына сәйкес өзгеретіні байқалады.

Тірек сөздер: құс еті, алма жомы ұнтағы, тауықтың іш майы, тағамдық талшықтар, жартылай ет фабрикаттары.

Құрманбекова, А.Қ. Тағамдық талшықтар қосылған жартылай ет фабрикаттарының түс көрсеткіштерін анықтау [Мәтін] / А.Қ. Құрманбекова, А.М. Таева, И.М. Чернуха, Б.Ш. Джетписбаева, Н.Қ. Абильмажинова // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.33-39. https://doi.org/10.55956/SNTV4002

Кіріспе. Құс шаруашылығы – мал шаруашылығының ең тиімді әрі жылдам дамитын салаларының бірі. Құс етінің сойыс шығымы орташа есеппен 66% құрайды, бұл ірі қара малға қарағанда 1,5 есе жоғары.

ФАО әлем бойынша 2027 жылы құс етінің өндірісінің 2015-2017 жылдармен салыстырғанда 18%-ға өсуін болжады. Бұл жалпы ет өндірісінің 15%-дық өсімін құрайды. Дамушы елдер келесі онжылдықта құс етін өндіру мен тұтыну бойынша дамыған елдерден алда болуын жалғастыра береді [1].

Құс еті – өте маңызды тағам. Оның көптеген пайдалы қасиеттері бар, олардың бастысы ақуыздың көп мөлшері. Ақуыз барлық тірі организмдердің «құрылыс материалы» болып саналады. Сонымен қатар құрамында протеиннің жоғары мөлшеріне байланысты аса құнды болып саналады. Айрықша ерекшелігі – бұл адам ағзасындағы еттің жоғары сіңімділігі, қалыпты метаболизм сақталады, орталық жүйке жүйесінің жұмысына жағымды әсер етеді, сонымен қатар тері мен тырнақтарды жақсартады. Құс етінен жасалған тағамдардың ассортименті өте алуан түрлі: көптеген сорпалар, филе, котлеттер, кесектер, кебабтар, гарнирлер, олар көптеген тағам түрлерімен тамаша үйлеседі – бұл күнделікті диетаны әртараптандыруға көмектеседі, тағамға керемет көрініс пен керемет дәм береді.

Тағамдық талшықтар – бұл өсімдік тектес тағамның қорытылмайтын бөлігі, олар аш ішекте қорытылып, сіңірілмейді. Бұл талшықтар асқорыту жолынан өткен кезде негізінен өзгеріссіз қалады [2].

Тағамдық талшықтар көптеген пайдалы қасиеттерге ие: асқорытуға көмектеседі, тоқтық сезімін ұзақ сақтайды (салмақты бақылауда ұстауда маңызды), сонымен қатар 2-типтегі қант диабеті, жүрек-тамыр аурулары және кейбір онкологиялық аурулардың даму қаупін төмендетеді. Тағамдық талшықтарды азық-түлік өнімдерінің құрамына енгізу – тамақ өнеркәсібіндегі басым бағыттардың бірі, себебі олар денсаулыққа тигізетін пайдасы мол функционалдық өнімдер шығаруға және олардың қоректік көрсеткіштерін жақсартуға мүмкіндік береді [3].

Алма жомы ұнтағы тағамдық талшықтардың құнды көзі болып табылады. Оның құрамында 1,8% клетчатка және 2,5% пектиндік заттар бар. Сонымен қатар суда еритін пектиннің мөлшері 0,6%-ды құрап, пектиннің жалпы мөлшерінің 24%-ына сәйкес келеді [4].

Зерттеудің мақсаты –- тағамдық талшықтармен байытылған құс етінен жасалған жартылай фабрикаттардың ғылыми негізделген технологиясын жасау.

Зерттеу шарттары мен әдістері. *Жартылай ет фабрикаттарының түс көрсеткіштерін анықтау.* Жартылай ет фабрикаттарының түс параметрлері *L* (ашықтығы), a (қызылдығы) және *b* (сары түсі) Croma Meter CR-400, Konica Minolta, Osaka, Japan колориметр-рефлектометрі арқылы өлшенді. Құрылғы алдын ала ақ пластинаға (L* = +97,83, a* = -0,43, b* = +1,98) калибрленді. Өлшеу үшін жартылай ет фабрикат үлгілерін 10×20 мм көлемінде біркелкі тілімдеді. Түсті талдау жаңа өндірілген өнімде (0-ші күн) және сақтаудың 3, 5, 7-ші күндерінде жүргізілді. Әр үлгі үш рет өлшеніп, нәтижелердің орташа мәндері түс көрсеткіштерінің сақталу процесіндегі өзгерісін бағалау үшін пайдаланылды.

Жартылай ет фабрикаттарын органолептикалық бағалау. Құс етінен жасалған жартылай ет фабрикаттарының сезімдік қасиеттері 5 балдық шкала бойынша бағаланды, мұнда 1 – «мүлде ұнамайды», ал 5 – «өте ұнайды» деген мағынаны білдірді. Сенсорлық талдау үшін жартылай ет фабрикатының кесінділері қалыңдығы 1 см етіп кесіліп, жылы күйінде ұсынылды. Бағалауды арнайы дайындықтан өткен, 30 бен 45 жас аралығындағы жеті сарапшыдан тұратын қазылар алқасы жүргізді. Қазылар құрамына Литвадағы Lithuanian University of Health Sciences университетінің ветеринария кафедрасының қызметкерлері болды.

Бағалау процедурасы:

– әр үлгі үш таңбалы кездейсоқ кодпен белгіленді, бұл бағалаудың объективтілігін қамтамасыз етті. Үлгілер ақ қағаз тәрелкелерде ұсынылды.

– қазылар алқасы келесі сипаттамалар бойынша бағалау жүргізді: иіс, түс, дәм, текстура, шырындылық және жалпы қабылдануы.

– әрбір үлгі жеке ұсынылып, басқа бағалаулардың әсерін болдырмау үшін сарапшылардан тәуелсіз бағалау сұралды.

– дәм қабылдау кезінде ықтимал аралас әсерлерді болдырмау үшін әрбір дегустациядан кейін бөлме температурасындағы су ұсынылды.

Бағалау шарттары: сенсорлық талдау түскі асқа дейін, алдыңғы тағамдардың дәм мен иіс сезу қабілетіне ықпалын азайту үшін жүргізілді. Бұл әдіс өнімнің сенсорлық сапасын объективті және нақты бағалауға мүмкіндік берді [5].

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Құс еті – толыққанды ақуыздар, сондай-ақ минералды заттар мен дәрумендердің маңызды көзі болып табылатын өмірлік маңызы бар тағам өнімдерінің бірі.

Құс еті коректілігі жоғары диетикалық өнім. Бройлердің ақ етінің құрамында 20% толық құнды ақуыздар, аз ғана (1-2%) май бар, бұл оны азық-түліктің диетикалық тобына жатқызуға болатынын көрсетеді [6,7].

«Chicken Fiber» жартылай ет фабрикаттарының сапалық сипаттамаларына әсерін зерттеу барысында келесі көрсеткіштер қарастырылды: алма жомы ұнтағының жартылай ет фабрикаттары өнімдерінің түстік көрсеткіштерге әсері.

Түстік көрсеткіштер (L*, a*, b*) ет өнімдерінің сыртқы тартымдылығын айқындайды.

«Chicken Fiber» жартылай ет фабрикаттарының түстік көрсеткіштері 1-кестеде көрсетілген.

Кесте 1

(4°C) сақтау кезінде алма жомы ұнтағы қосылған жартылай ет фабрикаттарының түстік көрсеткіштері (L*, a*, b*)

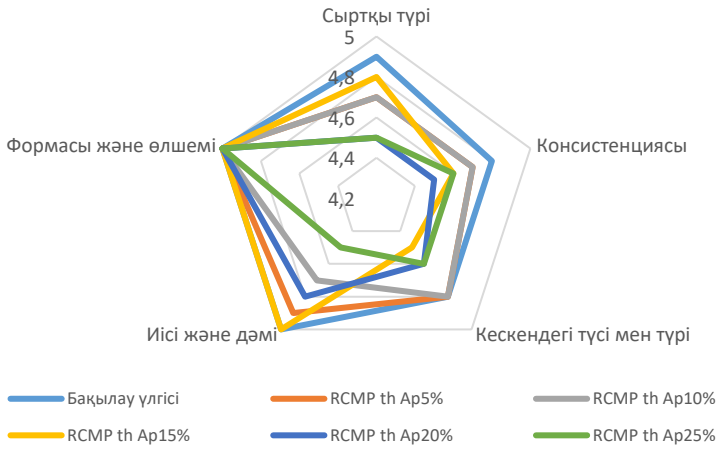
RCMP samples	*L**	*a**	*b**
Control th	84,6 ± 1,28	11,5 ± 0,11	33,8 ± 0,37
RCMP th $_{Ap5\%}$	86,4 ± 1,13	4,78 ± 0,20	19,2 ± 0,23
RCMP th $_{Ap10\%}$	87,6 ± 1,50	6,04 ± 0,35	20,4 ± 0,12
RCMP th $_{Ap15\%}$	96,1 ± 1,99	6,04 ± 0,26	22,8 ± 0,13
RCMP th $_{Ap20\%}$	97,8 ± 1,67	4,97 ± 0,30	19,5 ± 0,51
RCMP th $_{Ap25\%}$	92,6 ± 1,16	6,53 ± 0,17	22,1 ± 0,20
RCMP th $_{Ap30\%}$	91,5 ± 1,46	7,74 ± 0,28	26,1 ± 0,23

1-кестеде, L* (ашықтық) мәні 5%, 10%, 15%, 20%,25%, 30% көбейген сайын жоғарылады (мысалы, 84,6 ± 1,28-ден 91,5 ± 1,46-ға дейін), бұл пигменттер мен талшықтың өзара әрекеттесуіне байланысты өзгеріп отырады. Ал a* (қызыл түс) көрсеткіші 11,5 ± 0,11-ден 7,74 ± 0,28-ге дейін біршама төмендегенін байқаймыз. b* (сарғыш түс) үлестік мәні бастапқыда жоғары болса да 33,8 ± 0,37-ден 26,1 ± 0,23-ке дейін алма ұнтағы мөлшерінің артуына сәйкес өзгеретіні байқалады. Бұл өзгерістер «Chicken Fiber» жартылай ет фабрикатын көру арқылы қабылдануына ықпал етеді [8].

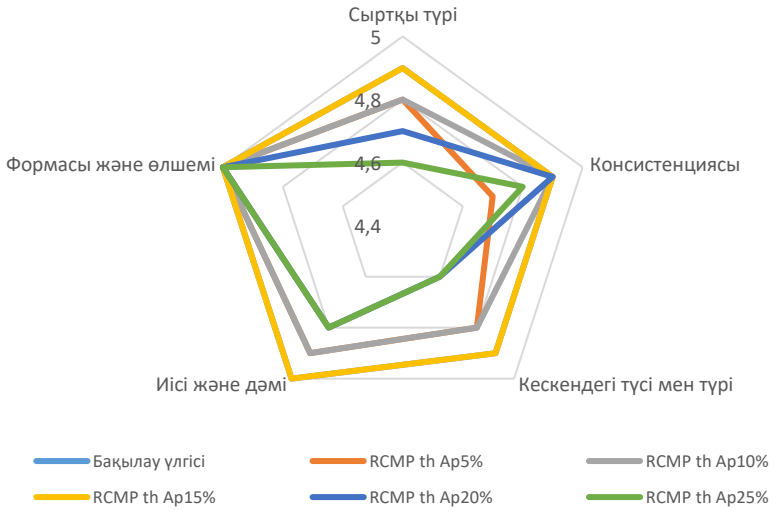
Алма жомы ұнтағының құс еті өнімдерінің органолептикалық көрсеткіштеріне әсері. Әртүрлі зерттеушілер құс еті өнімдерін алма жомы ұнтағымен байыту әдістерін қолданды және оның тез бұзылатын жаңа түрімен салыстырғанда, кептірілген түрін пайдалануды ұсынды [3,9,10].

Органолептикалық сипаттамалар (дәм, иіс, консистенция, сыртқы келбет) тұтынушының өнімді қабылдауына тікелей әсер етеді.

1-сурет алма жомы ұнтағы қосылған құс етінен жасалған жартылай ет фабрикаттарының органолептикалық көрсеткіштерін (0-күн және 20-күн) салыстырып көрсетеді. Алма жомы ұнтағы шамадан тыс қосылғанда кейбір үлгілерде дәм мен иісте сәл бөтендік сезілуі мүмкін. Ал сыртқы түрі мен кескендегі көрінісіне тұзбен және басқа функционалдық компоненттермен оңтайлы үйлескен жағдайда жалпы дәмдік сапа бақылау үлгісімен салыстырғанда жақсарды немесе өзгере қоймады.



Сурет 1. Алма жомы ұнтағы қосылған «Chicken Fiber» жартылай ет фабрикаттарының органолептикалық көрсеткіштері: (a) 0-күн;



Сурет 2. Алма жомы ұнтағы қосылған «Chicken Fiber» жартылай ет фабрикаттарының органолептикалық көрсеткіштері: (b) 20-күн

Қорытынды. Тағамдық талшықтардың мол көздерінің бірі – алма жомы ұнтағы. Алма жомы ұнтағы клетчаткаға, пектиндерге, антиоксиданттарға және басқа да биологиялық белсенді заттарға бай.

Сонымен қатар алма жомы ұнтағы ет өнімдеріне қосу оларды тағамдық талшықтар және полифенолдар сияқты пайдалы заттармен байытады.

Бұл зерттеу нәтижелері алма жомы ұнтағының ет өнеркәсібінде перспективті ингредиент екенін растайды. Оны өнім рецептурасына енгізу арқылы жартылай ет фабрикаттарының диеталық және функционалдық құндылығын арттыруға, өндіріс шығындарын төмендетуге және тұтынушыға пайдалы әрі сапалы өнім ұсынуға болады.

Әдебиеттер тізімі

1. Айдарова, А.Б. Анализ состояния и развития яйчного птицеводства в казахстане [Текст] / А.Б. Айдарова // Central Asian Economic Review. – 2017. – № 5-6. – С. 140-147.
2. Anderson J.W., Baird P., Davis Jr R.H., Ferreri S., Knudtson M., Koraym A., Waters V., Williams C.L. Health benefits of dietary fiber //Nutrition Reviews. – 2009. – Vol. 67(4). – P. 188-205.
3. Choi Y., Kim Y., Hwang K., Song D., Ham Y., Kim H., Sung J., Kim C. Effect of apple pomace fiber and pork fat levels on quality characteristics of uncured, reduced-fat chicken sausages //Poultry Science. – 2016. – Vol. 95. – No. 6. – P. 1465-1471.
4. Kurmanbekova A., Tayeva A., Starkutė V., Mockus E., Mozurienė E. et al. The use of apple production by-products for quality improvement of ready-to-cook minced chicken meat products / Veterinarija ir Zootechnika. – 2024. – Vol. 82. – No. 1.
5. Kurmanbekova A., Tayeva A., Starkutė V., Mockus E., Mozurienė E., Klupšaitė D., Tolpeznikaitė E., Bartkienė E. The use of apple production by-products for quality improvement of ready-to-cook minced chicken meat products //Veterinarija ir Zootechnika. – 2024. – Vol. 82(1). – P. 109-110.
6. Құрманбекова, А.Қ. Пісірілген шұжық өндірісінде итмұрын жемістерінен жасалған ұнтақты қолдану [Мәтін] / А.Қ. Құрманбекова, А.М. Таева, Н.К. Ахметова, Э.Ч. Базылханова //Вестник Алматинского технологического университета. – 2022. – № 3. – С. 13-18. https://doi.org/10.48184/2304-568X-2022-3-13-18.
7. Курманбекова, А.К. Использование пищевых волокон в технологии мясных полуфабрикатов [Текст] / А.К. Курманбекова, Таева А.М. // Сборник статей V Международной научно-практической конференции в рамках VI научно-практического форума «День хлеба и соли». – Саратов, 2025. – С. 39-40.
8. Курманбекова, А.К. Рынок мясных полуфабрикатов и роль пищевых волокон яблочного порошка в их производстве [Текст] / А.К. Курманбекова, А.М. Таева, Н.К. Абильмажинова, Б.Ш. Джетписбаева, М.А. Абсалимова //Материалы Международной научно-практической интернет-конференции «Технико-технологический форум в области пищевой промышленности и обеспечения качества продуктов питания», посвященной 85-летнему юбилею академика МИА, д.х.н. профессора Баткибековой М.Б. – [?], 2025.
9. Kurmanbekova A., Bartkiene E., Tayeva A., Starkute V., Klupsaite D., Mockus E., Tolpeznikaite E., Mozuriene E., Anskiene L., Ruibys R., Viskelis P. Innovative use of apple by-products to improve quality in ready-to-cook minced chicken products //Food Production, Processing and Nutrition. – 2025. – Vol. 7(1). – P. 58.
10. Таева, А.М. Разработка технологии мясного продукта для студентов [Текст] / А.М. Таева, Д.Б. Айтжан, А.К. Курманбекова // Вестник Алматинского технологического университета. – 2025. – № 2 (148). – С. 133-141.

Материал редакцияға 08.08.25 түсті, 27.02.26 қабылданды.

А.Қ. Құрманбекова[1], А.М. Таева[1], И.М. Чернуха[2], Б.Ш. Джетписбаева[1], Н.К. Абильмажинова[1]

[1]Алматинский Технологический университет, Алматы, Казахстан
[2]ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова», Москва, Россия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦВЕТОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЛУФАБРИКАТОВ С ДОБАВЛЕНИЕМ ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН

Аннотация. Из мяса птицы с использованием порошка из яблочного жмыха были изготовлены полуфабрикаты. В результате исследования готовой продукции были изучены цветовые характеристики контрольных и опытных образцов: L (светлота), а (краснота) и b (желтизна) в процессе хранения, а также определён общий цвет полуфабрикатов. Значение L* (прозрачность) показателей устойчивости цвета в процессе хранения на основе полученных результатов 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% увеличивается с увеличением (например, с 84,6 ± 1,28 до 91,5 ± 1,46), что варьируется в зависимости от взаимодействия пигментов и волокон. Также наблюдается некоторое снижение показателя а* (красный цвет) с 11,5 ± 0,11 до 7,74 ± 0,28. Удельное значение b* (желтоватый цвет) изменяется в соответствии с увеличением количества порошка полученного из яблочного жмыха от 33,8 ± 0,37 до 26,1 ± 0,23, даже если оно изначально было высоким.

Ключевые слова: мясо птицы, яблочный жмых, куриный жир сырец, пищевые волокна, мясные полуфабрикаты.

A.K. Kurmanbekova[1], A.M. Taeva[1], I.M. Chernukha[2], B.Sh. Jetpisbayeva[1], N.K. Abilmazhinova[1]

[1]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan
FSBSI "V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems", Moscow, Russia

DETERMINATION OF THE COLOR PARAMETERS OF SEMI-FINISHED PRODUCTS WITH THE ADDITION OF DIETARY FIBER

Abstract. Semi-finished products were prepared from poultry meat using apple pomace powder. As a result of the study of the finished products, the color characteristics of the control and experimental samples L (lightness), a (redness), and b (yellowness) were analyzed during storage, and the overall color of the semi-finished meat products was also determined. The value of L* (transparency) of color stability indicators during storage based on the results obtained 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% increases with magnification (for example, from 84.6 ± 1.28 to 91.5 ± 1.46), which varies depending on the interaction of pigments and fibers. And we are seeing a slight decrease in the a* indicator (red) from 11.5 ± 0.11 to 7.74 ± 0.28. It can be seen that the specific value of b* (yellowish color) changes in accordance with an increase in the amount of apple powder from 33.8 ± 0.37 to 26.1 ± 0.23, even if it was initially high.

Keywords: chicken meat, apple pomace powder, raw chicken fat, dietary fiber, semi-finished meat products.

References

1. Aidarova, A.B. Analiz sostoyaniya i razvitiya yaichnogo ptitsevodstva v Kazakhstane [Analysis of the state and development of egg poultry farming in Kazakhstan] // Central Asian Economic Review. – 2017. – No. 5–6. – P. 140-147. [in Russian].

2. Anderson J.W., Baird P., Davis Jr R.H., Ferreri S., Knudtson M., Koraym A., Waters V., Williams C.L. Health benefits of dietary fiber //Nutrition Reviews. – 2009. – Vol. 67(4). – P. 188-205.
3. Choi Y., Kim Y., Hwang K., Song D., Ham Y., Kim H., Sung J., Kim C. Effect of apple pomace fiber and pork fat levels on quality characteristics of uncured, reduced-fat chicken sausages //Poultry Science. – 2016. – Vol. 95. – No. 6. – P. 1465-1471.
4. Kurmanbekova A., Tayeva A., Starkutė V., Mockus E., Mozurienė E. et al. The use of apple production by-products for quality improvement of ready-to-cook minced chicken meat products / Veterinarija ir Zootechnika. – 2024. – Vol. 82. – No. 1.
5. Kurmanbekova A., Tayeva A., Starkutė V., Mockus E., Mozurienė E., Klupšaitė D., Tolpeznikaitė E., Bartkienė E. The use of apple production by-products for quality improvement of ready-to-cook minced chicken meat products //Veterinarija ir Zootechnika. – 2024. – Vol. 82(1). – P. 109-110.
6. Kurmanbekova A.K., Tayeva A.M., Akhmetova N.K., Bazylkhanova E.Ch. Pisirilgen shuzhyq ondirisinde itmuryn zhemisterinen zhasalgan untaqty qoldanu [Application of rosehip powder in the production of cooked sausages] // Bulletin of the Almaty Technological University. – 2022. – No. 3. – P. 13-18. https://doi.org/10.48184/2304-568X-2022-3-13-18. [in Russian].
7. Kurmanbekova A.K., Tayeva A.M. Ispolzovanie pishchevykh volokon v tekhnologii myasnykh polufabrikatov [Use of dietary fiber in the technology of semi-finished meat products] // Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference within the VI Scientific and Practical Forum “Day of Bread and Salt”. – Saratov, 2025. – P. 39-40. [in Russian].
8. Kurmanbekova A.K., Tayeva A.M., Abilmazhinova N.K., Dzhetpisbayeva B.Sh., Absalimova M.A. Rynok myasnykh polufabrikatov i rol pishchevykh volokon yablochnogo poroshka v ikh proizvodstve [The market of semi-finished meat products and the role of dietary fiber from apple powder in their production] // Proceedings of the International Scientific and Practical Internet Conference “Technical and Technological Forum in the Field of Food Industry and Food Quality Assurance”. – 2025. [in Russian].
9. Kurmanbekova A., Bartkiene E., Tayeva A., Starkute V., Klupsaite D., Mockus E., Tolpeznikaite E., Mozuriene E., Anskiene L., Ruibys R., Viskelis P. Innovative use of apple by-products to improve quality in ready-to-cook minced chicken products //Food Production, Processing and Nutrition. – 2025. – Vol. 7(1). – P. 58.
10. Tayeva A.M., Aitzhan D.B., Kurmanbekova A.K. Razrabotka tekhnologii myasnogo produkta dlya studentov [Development of meat product technology for students] // Bulletin of the Almaty Technological University. – 2025. – No. 2 (148). – P. 133-141. [in Russian].

МРНТИ 65.29.33

Л.А. Касьянова ©

Канд. техн. наук

ORCID *https://orcid.org/0000-0003-1956-4466*

Могилевский государственный университет продовольствия,

Могилев, Республика Беларусь

@ *kas_yan@gmail.com*

https://doi.org/10.55956/LXUY8637

ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОВСА ГОЛОЗЕРНОГО ПРИ ПРОРАЩИВАНИИ

Аннотация. В работе исследовалось влияние процесса проращивания на химический состав зерен голозерного овса различных сортов. Установлено, что проращивание является эффективным способом повышения биологических качеств зерна за счет активации ферментативных процессов и перевода простых соединений в более легкоусвояемые формы. Экспериментально показано, что с продолжительностью проращивания (до 25 часов) происходит снижение содержания белка (на 0,6-2,8%), крахмала (на 6,5-12,2%) и жира (на 0,3-0,9%), что связано с их ферментативным гидролизом. Столь заметное увеличение содержания сахаров приводит к уменьшению количества крахмала под действием амилазы, а также незначительному росту содержания клетчатки. Установлено, что в первые 5-10 часов проращивания биохимические процессы протекают слабо, затем как через 10 часов наблюдаются их постепенное усиление. Полученные результаты свидетельствуют о значительном влиянии продолжительности роста химического состава овса голозерного и подтверждают перспективность его использования для получения продуктов питания повышенной биологической ценности.

Ключевые слова: овес голозерный, проращивание, зерно, активация, ферментативные процессы, гидролиз, биологическая ценность.

Касьянова, Л.А. Изменение химического состава овса голозерного при проращивании [Текст] / Л.А. Касьянова // Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №1(91). – С.40-49. https://doi.org/10.55956/LXUY8637

Введение. Важное место в производстве продуктов массового питания, пользующихся каждодневным спросом у населения, занимают зерновые ресурсы республики. Их правильное использование позволяет производить продукты питания с заданным составом и свойствами.

В решении этой задачи важное место занимает внедрение новых процессов повышения биологической ценности зерна – проращивания.

Проросшее зерно – это полезный легкоусвояемый продукт. По сравнению с непророщенным оно содержит значительно больше витаминов, макро- и микроэлементов в легкоусвояемой форме, и, следовательно, обладает высокой биологической ценностью. Благодаря наличию в нем активных протеолитических ферментов улучшается усвояемость белков. Крахмал в проросших зернах частично превращается в солодовый сахар, что

облегчает его переваривание. В таком зерне пробуждаются силы зародышевого организма, активизируются ферменты, сохраняются в своем естественном природном виде все вещества, содержащиеся в целом зерне.

Из пророщенного зерна можно получать различные продукты питания – традиционные, обладающие лечебными свойствами, специального назначения и др. [1], их употребление не имеет побочных эффектов, приводит к нормализации обмена веществ и похудению людей с избыточным весом.

Проросшее зерно используют при производстве детского и диетического питания, спирта, хлебопекарных изделий, а также кормовых добавок животным.

Одной из перспективных зерновых культур, выращиваемых в Республике Беларусь, является овес.

В овсе содержатся незаменимые аминокислоты и протеины. Большую ценность представляет также клетчатка (11%). Растворимая клетчатка предотвращает колебания уровня сахара в крови и оказывает тонизирующее воздействие, а нерастворимая – восстанавливает микрофлору кишечника.

Продукты из овса отличаются наиболее высокой калорийностью по сравнению с другими крупяными продуктами, довольно высоким содержанием белка, жира. Кроме того, благодаря наличию значительного количества слизистых веществ овсяные продукты обладают диетическими свойствами. В этих продуктах содержится много витаминов – тиамина, рибофлавина, ниацина и ряд микроэлементов.

Однако из овса пленчатого в процессе переработки получается очень низкий выход готовой продукции (45–50%), что связано с большим содержанием в нем цветковых пленок (30%). Кроме того, у ядра пленчатого овса вся поверхность густо покрыта волосками. Хотя общая доля волосков составляет всего 1,5-3% от массы ядра, они снижают усвояемость и вкусовые качества крупы, поэтому в процессе переработки овса в крупу их удаляют.

В этой связи большой интерес представляет использование для переработки в пищевых целях овса голозерного, который имеет ряд преимуществ перед пленчатым [2].

В настоящее время в Государственный реестр Республики Беларусь включено три сорта овса голозерного – Вандровник, Гоша и Крепыш.

Овес голозерный – ценная продовольственная культура. Высокое содержание белка, жира, крахмала, витаминов при низком содержании клетчатки обуславливает его высокую пищевую ценность. Интерес к овсу голозерному обусловлен еще и тем, что в нем содержатся все незаменимые аминокислоты. По их содержанию белки овса не уступают белкам пшеницы, а по некоторым аминокислотам (лизин, аргинин, триптофан) даже превосходят их. Овес голозерный превосходит пленчатый по содержанию сырого протеина на 3,5-4,0%, жира – на 2,5-3,0%, кроме того, он имеет меньшее содержание сырой клетчатки. Зерно овса голозерного также содержит органические соединения железа, фосфора, кальция [3, 4].

Примерно у 90-95% зерновок овса голозерного отсутствуют цветковые пленки. Также у овса голозерного только на вершине зерновки имеются волоски, а на поверхности ядра они отсутствуют. Поэтому выход готовой продукции из зерна овса голозерного значительно выше.

При изучении физических свойств зерна установлено, что овес голозерный по гранулометрическому составу, натуре, массе 1000 зерен, плотности, пленчатости, содержанию ядра, объему зерновки существенно

отличается от пленчатого. Овес голозерный имеет низкую пленчатость (практически нулевую), высокое содержание ядра, высокую натуру [2].

Поэтому изучение процесса проращивания зерна овса голозерного представляет большой интерес и является актуальным и перспективным направлением научных исследований.

Проращивание зерна в зависимости от конкретного назначения включает различные периоды от 1 до 10 суток. Так, в пищевых производствах используют зерно, проращиваемое до 9 суток.

Важнейшими предварительными условиями для прорастания зерна являются: достаточная влажность, соответствующая температура и наличие кислорода.

В настоящее время используются несколько способов замачивания зерна: воздушно-водяное замачивание; в непрерывном потоке воды и воздуха; оросительное замачивание; воздушно-оросительное замачивание [5].

Материалы и методы исследований. В Могилевском государственном университете продовольствия на кафедре «Технология хлебопродуктов» исследовали влияние длительности проращивания овса голозерного на его химический состав.

Для исследования использовали зерно овса голозерного следующих сортов – Крепыш, Вандровник, Гоша, Белорусский голозерный и зерно рядовое, выращенное в различных регионах Республики Беларусь.

В работе применяли общепринятые и стандартные методы анализа.

Определение влажности зерна – по ГОСТ 13586.5, энергии прорастания и способности прорастания – по ГОСТ 10968, белка – по ГОСТ 10846, крахмала – по ГОСТ 10845, сахаров – по методу Бертрана, жира – по ГОСТ 29033, клетчатки по методу Кюршнера и Ганека.

Технологический процесс получения пророщенного зерна овса голозерного включает в себя следующие этапы: очистка зерна от примесей, мойка и дезинфекция зерна, замачивание и проращивание.

Для замачивания зерна овса голозерного использовали водопроводную воду с температурой 8-12ºС. Проращивание осуществляли воздушно-водяным методом в термостате марки ЛП-122, в котором поддерживается постоянная температура и относительная влажность воздуха. Сущность данного метода проращивания заключается в попеременном пребывании зерна в воде (водяная пауза) и без воды (воздушная пауза). В этом способе учтено важное значение кислорода воздуха, как активатора энергии прорастания зерна, и предусмотрено продувание воздухом во время пребывания зерна под водой и после каждого спуска воды. Хорошая аэрация замачиваемого зерна ускоряет впитывание воды и его прорастание [6].

На основании проведенных ранее исследований была установлена оптимальная длительность воздушно-водяных пауз – 5-10 часов, при этом достигается длина роста 1,5-2 мм. Длительность проращивания изменялась от 0 до 25 часов, через каждые пять часов определялись исследуемые показатели.

Результаты исследований. Семенные свойства зерна овса голозерного являются основным показателем, определяющим возможность его использования для получения из пророщенного зерна продуктов питания повышенной биологической ценности.

К семенным свойствам зерна относят энергию прорастания, способность прорастания и жизнеспособность.

Энергия прорастания – это способность семян быстро прорастать. Энергию прорастания определяют в тех же условиях и одновременно со способностью прорастания (в первые три-четыре дня).

Жизнеспособность семян – свойство семян сохранять способность к прорастанию. Только что убранные или хранящиеся при низкой температуре семена часто не прорастают, хотя и имеют здоровый зародыш, т. е. жизнеспособны. Это вызывается периодом покоя, после прохождения которого семена могут дать нормальные всходы.

Показатели семенных свойств зерна овса голозерного приведены в таблице 1.

Исследуемые сорта зерна овса голозерного можно охарактеризовать как зерно с высокой энергией и способностью прорастания.

Высокие значения энергии и способности прорастания позволяют предположить, что практически все исследуемые образцы зерна овса голозерного пригодны для использования их в качестве сырья для получения зерновых продуктов повышенной биологической ценности из пророщенного зерна.

Таблица 1

Семенные свойства зерна овса голозерного

Сорт	Энергия прорастания, %	Способность прорастания, %
голозерные сорта		
Гоша	91,4±4,5	94,8±4,2
Вандровник	87,3±7,6	96,7±1,1
Крепыш	88,7±1,1	94,0±2,0
Белорусский голозерный	90,3±4,9	95,3±1,8
Зерно рядовое	87,3±5,8	92,7±3,6

В процессе проращивания происходит снижение сухой массы зерна, так как в этот период зерно теряет некоторое количество содержащихся в нем органических веществ, которые растворяются в воде и вымываются, а также вследствие увеличения интенсивности дыхания. Объем зерновки овса голозерного пророщенного увеличивается, а плотность при этом снижается. Увеличение объема зерновки и уменьшение плотности связано с тем, что при проращивании происходит поглощения коллоидами зерна влаги, зерно набухает. Влага, проникая внутрь зерновки, ослабляет связи между биополимерами зерна, происходит разрыхление эндосперма.

Проведенные нами ранее исследования показали, что химический состав овса голозерного по сравнению с овсом пленчатым характеризуется более высоким содержанием крахмала, сахара, белка и жира и более низким содержанием клетчатки.

У исследуемых различных сортов овса голозерного содержание белка составляет 12,4-15,4%, крахмала 55,4-58,3%, сахара 1,9-2,3%, жира 5,2-7,0%, клетчатки 1,5-3,0%.

В процессе проращивания зерна овса голозерного происходит интенсивный гидролиз высокомолекулярных соединений до низкомолекулярных и перевод их в растворимое состояние, доступное для подачи в развивающийся росток, что приводит к изменению химического состава зерна. В результате увеличения активности ферментов протеаз, белки

разлагаются до аминокислот, которые частично усваиваются, частично разлагаются дальше на нуклеотиды.

Таким образом, белок в пророщенном зерне переходит в легкоусвояемое состояние – увеличивается содержание незаменимых аминокислот.

В процессе проращивания зерна овса голозерного во всех исследуемых образцах количество белка снижается (рис. 1). В первые 10 часов замачивания и проращивания овса голозерного содержание в нем белка не изменяется или снижается незначительно. Это говорит о том, что активность протеаз низкая. При дальнейшем проращивании с 10 до 25 часов наблюдается значительное снижение содержания белка, что объясняется интенсификацией процесса распада белка под действием протеаз. В процессе проращивания содержание белка снижается на 0,6-2,8%.

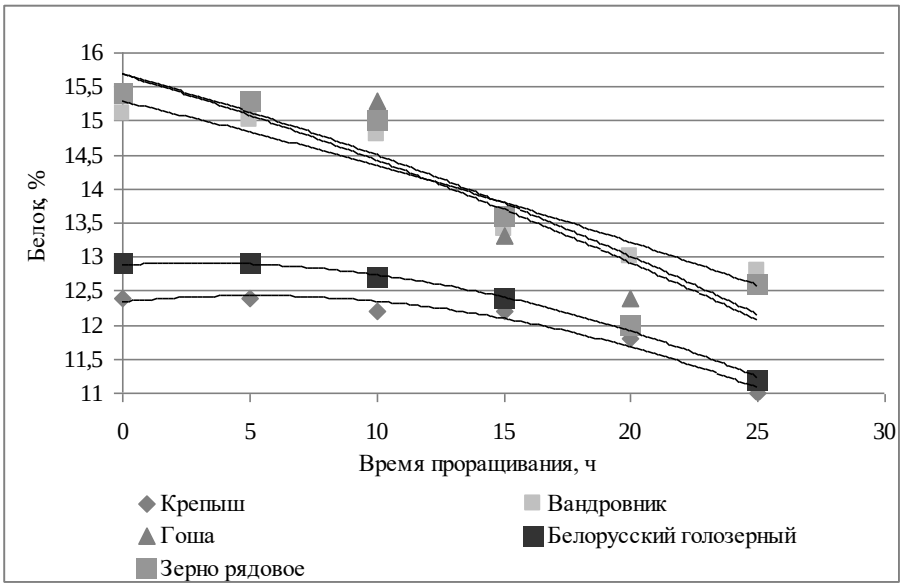


Рис. 1. Изменение содержания белка в зерне овса голозерного при проращивании

Уравнения, описывающие данный процесс, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Зависимость между содержанием белка (y) и длительностью проращивания (x) зерна овса голозерного

Сорт	Уравнение	Коэффициент детерминации, R^2
Крепыш	$y = -0{,}0034x^2 + 0{,}0354x + 12{,}343$	0,9587
Вандровник	$y = -0{,}0009x^2 - 0{,}0848x + 15{,}289$	0,907
Гоша	$y = -0{,}0015x^2 - 0{,}1036x + 15{,}689$	0,8484
Белорусский голозерный	$y = -0{,}0034x^2 + 0{,}02x + 12{,}886$	0,9947
Зерно рядовое	$y = -0{,}0012x^2 - 0{,}1142x + 15{,}689$	0,8524

При проращивании зерна овса голозерного происходит снижение содержания крахмала (рис. 2), при этом он под действием ферментов α- и ß-амилазы превращается в легкоусвояемые углеводы.

В первый период проращивания зерна овса голозерного в течение 5-10 часов процесс гидролиза крахмала протекает неактивно, при увеличении длительности проращивания гидролиз крахмала происходит более интенсивно и содержание крахмала значительно снижается, особенно при 20-25 часах проращивания.

Содержание крахмала в процессе проращивания уменьшается на 6,5-12,2%.

Уравнения, описывающие данный процесс, приведены в таблице 3.

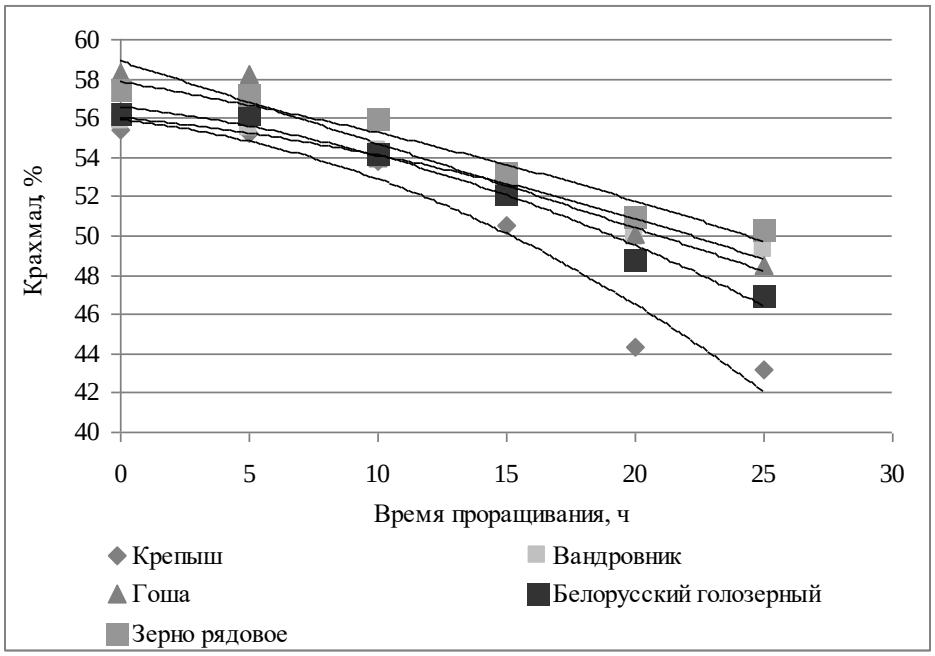


Рис. 2. Изменение содержания крахмала в зерне овса голозерного при проращивании

Таблица 3

Зависимость между содержанием крахмала (y) и длительностью проращивания (x) зерна овса голозерного

Сорт	Уравнения	Коэффициент детерминации, R^2
Крепыш	$y = -0{,}0169x^2 - 0{,}1311x + 55{,}918$	0,9492
Вандровник	$y = -0{,}0065x^2 - 0{,}1266x + 56{,}039$	0,9613
Гоша	$y = -0{,}0005x^2 - 0{,}4144x + 58{,}911$	0,9644
Белорусский голозерный	$y = -0{,}0105x^2 - 0{,}1421x + 56{,}582$	0,9836
Зерно рядовое	$y = -0{,}0044x^2 - 0{,}2156x + 57{,}861$	0,958

В состав углеводного комплекса, вместе с крахмалом, входят собственные сахара. Наряду с расщеплением крахмала в пророщенном зерне происходит увеличение содержания сахара. При проращивании зерна овса

голозерного значительное накопление сахаров наблюдается после 10 часов проращивания (рис. 3). Это объясняется повышением активности ферментов α- и β- амилазы. Образующиеся в процессе проращивания сахара расходуются на формирование ростка и активно возрастающий процесс дыхания.

Уравнения, описывающие данный процесс, приведены в таблице 4.

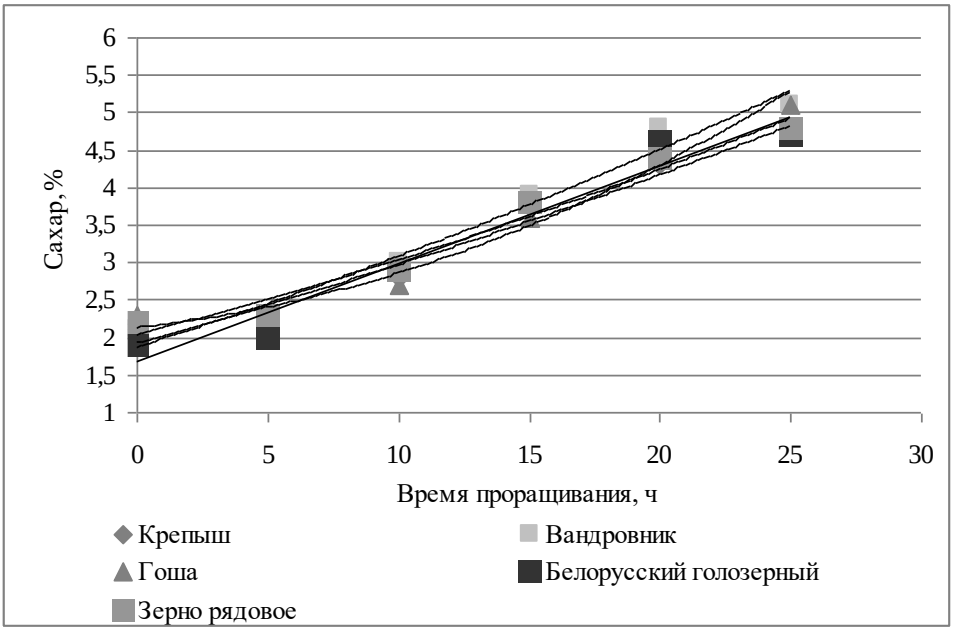


Рис. 3. Изменение содержания сахаров в зерне овса голозерного при проращивании

Таблица 4

Зависимость между содержанием сахаров (y) и длительностью проращивания (x) зерна овса голозерного

Сорт	Уравнения	Коэффициент детерминации, R^2
Крепыш	$y = 0{,}0008x^2 + 0{,}0964x + 1{,}9321$	0,9661
Вандровник	$y = 0{,}0011x^2 + 0{,}1104x + 1{,}875$	0,9622
Гоша	$y = 0{,}0036x^2 + 0{,}037x + 2{,}1357$	0,9689
Белорусский голозерный	$y = 0{,}1297x + 1{,}6952$	0,955
Зерно рядовое	$y = 0{,}0011x^2 + 0{,}0886x + 2{,}0464$	0,9727

Жиры при проращивании под действием фермента липазы расщепляются на жирные кислоты и глицерин, что приводит к уменьшению их содержания. Этот процесс практически неактивен при длительности проращивания до 10 часов. С увеличением длительности проращивания процесс расщепления жиров активизируется, и количество жиров уменьшается на 0,3-0,9% при 25 часах проращивания (рис. 4).

Уравнения регрессии, описывающие данный процесс, приведены в таблице 5.

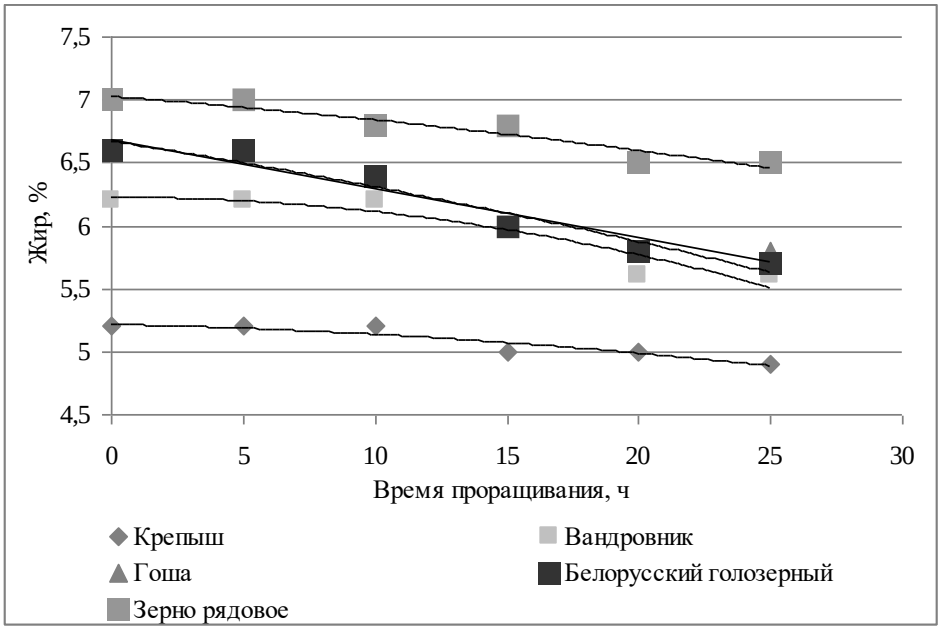


Рис. 4. Изменение содержания жира в зерне овса голозерного при проращивании

Таблица 5

Зависимость между содержанием жира (y) и длительностью проращивания (x) зерна овса голозерного

Сорт	Уравнения	Коэффициент детерминации, R^2
Крепыш	$y = -0{,}0004x^2 - 0{,}0042x + 5{,}2179$	0,8892
Вандровник	$y = -0{,}0011x^2 - 4E\text{-}15x + 6{,}2286$	0,8945
Гоша	$y = -0{,}0389x + 6{,}6857$	0,9175
Белорусский голозерный	$y = -0{,}0004x^2 - 0{,}0328x + 6{,}675$	0,9455
Зерно рядовое	$y = -0{,}0003x^2 - 0{,}0157x + 7{,}0286$	0,9098

Исследуя данные модели на адекватность при помощи коэффициента детерминации определяем, что коэффициенты детерминации достаточно близки к 1, и можно сделать вывод о достаточно сильном влиянии длительности проращивания на химический состав зерна овса голозерного.

Из данных, приведенных на рисунках 1-4 и в таблицах 2-5, следует, что между содержанием белка, крахмала, жира и длительностью проращивания существует обратная зависимость, а между содержанием сахаров и длительностью проращивания – прямая зависимость.

В процессе проращивании овса голозерного происходит незначительное увеличение содержания клетчатки (на 0,2-0,4%). Это можно объяснить тем, что в процессе проращивания происходит расщепление основных питательных веществ: белков, жиров, углеводов. При этом происходит накопление водорастворимых веществ, относительное содержание питательных веществ снижается, что и приводит к некоторому увеличению содержания клетчатки в пророщенном зерне.

Заключение. Таким образом, в процессе проращивания зерна овса голозерного происходит снижение содержания белка, крахмала и жира и

увеличение содержания сахаров. Биохимические процессы, происходящие в зерне овса голозерного в течение 5-10 часов проращивании, неактивны и его химический состав не изменяется или изменяется незначительно, но после 10 часов проращивания активность ферментов увеличивается, биохимические процессы интенсифицируются, в результате чего происходит значительное изменение химического состава.

Список литературы

1. Вашкевич, В. Трансформация каротина при проращивании зерна пшеницы [Текст] / В. Вашкевич, В. Горяев, О. Мусина // Хлебопродукты. – 2001. – №8. – С.18-19.
2. Касьянова, Л.А. Оценка качества зерна голозерного и пленчатого овса как сырья для производства пищевых продуктов [Текст] / Л.А. Касьянова, С.Н. Баитова // Вестник МГУП. – 2007. – №1.
3. Курятникова, Н.А. Овес голозерный – ценная продовольственная культура [Текст] / Н.А. Курятникова, З.А. Кирасиров // Научные основы семеноводства и агротехнологий с.-х. культур в условиях Евро-Северо-Востока РФ / Мордов. науч.-исслед. ин-т сел. хоз-ва. – Саранск, 2007. – С. 187-190.
4. Смирнов, А.А. Новая ценная продовольственная и кормовая культура в Пензенской области – голозерный овес [Текст] / А.А. Смирнов, А.Н. Кшникаткина, В.А. Самодуров // Материалы республ. научно-практич. конференции «Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии получения с.-х. продукции» / Мордов. гос. ун-т. – Саранск, 2007. – С. 160-163.
5. Мальцев, П.М. Технология солода и пива [Текст] / П.М. Мальцев. – М.: Пищевая промышленность. 1964. – 835с.
6. Бастриков, Д. Изменение биохимических свойств зерна при замачивании [Текст] / Д. Бастриков, Г. Панкратов // Хлебопродукты. –2006. –№1. – С.40–41.

Материал поступил в редакцию 12.01.26, принят 27.03.26.

Л.А. Касьянова

Могилев мемлекеттік тағамтану университеті, Могилев, Беларусь Республикасы

ӨНУ КЕЗІНДЕ ҚАБЫҒЫНАН АЙЫРЫЛҒАН СҰЛЫНЫҢ ХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫНЫҢ ӨЗГЕРУІ

Аңдатпа. Бұл зерттеуде өнудің жалаңаш сұлы дәндерінің әртүрлі сорттарының химиялық құрамына әсері зерттелді. Өну ферментативті процестерді белсендіру және қарапайым қосылыстарды оңай сіңірілетін түрлерге айналдыру арқылы дәннің биологиялық қасиеттерін жақсартудың тиімді тәсілі болып табылатыны анықталды. Тәжірибелер өну уақытының ұлғаюымен (25 сағатқа дейін), ферментативті гидролизге байланысты ақуыздың (0,6-2,8%), крахмалдың (6,5-12,2%) және майдың (0,3-0,9%) мөлшері төмендейтінін көрсетті. Қант мөлшерінің мұндай айтарлықтай артуы амилазаның әсерінен крахмал мөлшерінің азаюына, сондай-ақ талшық мөлшерінің аздап артуына әкеледі. Биохимиялық процестер өнудің алғашқы 5-10 сағатында әлсіз болатыны, содан кейін 10 сағаттан кейін біртіндеп күшейетіні анықталды. Алынған нәтижелер өсу ұзақтығының жалаңаш сұлының химиялық құрамына айтарлықтай әсерін көрсетеді және оларды биологиялық құндылығы жоғары тағам өнімдерін өндіруде қолдану мүмкіндігін растайды.

Тірек сөздер: жалаңаш сұлы, өну, дән, белсендіру, ферментативті процестер, гидролиз, биологиялық құндылығы.

L.A. Kasyanova

Mogilev State University of Nutrition, Mogilev, Republic of Belarus

CHANGES IN THE CHEMICAL COMPOSITION OF DESHELLED CURRANT DURING PRODUCTION

Abstract. This study investigated the effect of germination on the chemical composition of different varieties of naked oat grains. Germination was found to be an effective way to improve the biological properties of grain by activating enzymatic processes and converting simple compounds into more easily digestible forms. Experiments have shown that with increasing germination time (up to 25 hours), the content of protein (by 0.6-2.8%), starch (by 6.5-12.2%), and fat (by 0.3-0.9%) decreases due to their enzymatic hydrolysis. Such a significant increase in sugar content leads to a decrease in the amount of starch under the action of amylase, as well as a slight increase in fiber content. It was found that biochemical processes are weak during the first 5-10 hours of germination, then, after 10 hours, they gradually intensify. The results obtained demonstrate a significant impact of growth duration on the chemical composition of naked oats and confirm the potential of their use in producing food products with increased biological value.

Keywords: naked oats, germination, grain, activation, enzymatic processes, hydrolysis, biological value.

References

1. Vashkevich V., Goryaev V., Musina O. Transformatsiya karotina pri prorashchivanii zerna pshenitsy [Transformation of carotene during germination of wheat grain] // Bread products. - 2001. - No. 8. - P. 18-19. [in Russian].
2. Kasyanova L.A., Baitova S.N. Otsenka kachestva zerna golozernogo i plenchatogo ovsa kak syr'ya dlya proizvodstva pishchevykh produktov [Evaluation of the quality of naked and hulled oat grain as raw material for food production] // Bulletin of Moscow State University of Printing and Processing. - 2007. - No. 1. [in Russian].
3. Kuryatnikova N.A., Kirasirov Z.A. Oves golozernyy – tsennaya prodovol'stvennaya kul'tura [Naked oats - a valuable food crop] // Scientific foundations of seed production and agrotechnologies of agricultural crops in the conditions of the Euro-North-East of the Russian Federation / Mordov. sci.-research. in-t sel. khoz-va. – Saransk, 2007. – P. 187-190. [in Russian].
4. Smirnov A.A., Kshnikatkina A.N., Samodurov V.A. Novaya tsennaya prodovol'stvennaya i kormovaya kul'tura v Penzenskoy oblasti – golozernyy oves [New valuable food and forage crop in the Penza region – naked oats] // Proceedings of the republican scientific and practical conference "Resource-saving environmentally friendly technologies for obtaining agricultural products" / Mordov. state University. – Saransk, 2007. – P. 160-163. [in Russian].
5. Maltsev P.M. Tekhnologiya soloda i piva [Technology of malt and beer]. – Moscow: Food industry. 1964. – 835 p. [in Russian].
6. Bastrikov D., Pankratov G. Izmeneniye biokhimicheskikh svoystv zerna pri zamachivanii [Changes in biochemical properties of grain during soaking] // Bread products. - 2006. - No. 1. - P. 40-41. [in Russian].

IRSTI 65.33.35

D.B. Abdraimova[1] – *main author*, ©
D.A. Shansharova[2]

[1]*Acting Associate Professor,*
[2]*Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Acting Professor*

ORCID [1]*https://orcid.org/0000-0002-2889-8129* [2]*https://orcid.org/0000-0002-7346-2658*

[1,2]*Almaty Technological University,*

Almaty, Kazakhstan

@ [1]*d.abdraimova@atu.edu.kz*

https://doi.org/10.55956/QDKH5532

ANALYSIS OF THE IMPACT OF COMPONENT COMPOSITION ON THE TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF FLOUR-BASED CONFECTIONERY PRODUCTS

Abstract. The article presents the results of a study on the effect of adding powders made from pear and black currant on the quality of semi-finished products and finished goods, using sugar cookies as an example. The physicochemical and technological properties of pear and black currant powders, as well as their impact on dough structure, texture, and organoleptic characteristics of the finished product, were considered. Changes in the technological properties of semi-finished and finished flour confectionery products are presented depending on changes in the component composition. It was found that the optimal concentration of pear powder is 6%, while 4.5% of blackcurrant powder improves dough plasticity and increases water absorption, enriches the product with vitamins, organic acids, and antioxidants, and enhances the functional properties of the finished product.

Keywords: pear powder, currant powder, sugar cookies, functional ingredients, natural additives.

Abdraimova D.B., Shansharova D.A. Analysis of the impact of component composition on the technological properties of flour-based confectionery products //Mechanics and Technology / Scientific journal. – 2026. – No.1(91). – P.50-59. https://doi.org/10.55956/QDKH5532

Introduction. The use of fruit and berry raw materials in the technology of flour confectionery provides significant advantages, enriching products with valuable nutrients and improving their organoleptic properties. The addition of berry powders, such as currants, helps to increase the content of dietary fiber, vitamins and minerals in products, which makes them more beneficial to the health of consumers [1].

The development of new directions in the production of functional nutrition products based on non-traditional types of plant raw materials is becoming increasingly relevant [2,3].

The use of fruit and berry additives also improves the taste characteristics and appearance of confectionery products. For example, the introduction of blackcurrant berry powder into the pastry dough gives the product an attractive color and flavor without compromising its physico-chemical properties [4].

In addition, the use of fruit and berry raw materials helps to increase the shelf life of products due to the natural antioxidants contained in berries. This reduces the need for artificial preservatives and improves the environmental cleanliness of products [3].

Thus, the integration of fruit and berry raw materials into the formulations of flour confectionery products not only increases their nutritional and biological value, but also improves consumer properties, which helps to expand the range and increase the competitiveness of products on the market [5].

The chemical composition of fruit and berry raw materials is very important and rich for the human body. They are enriched with vitamins, macro- and microelements that positively affect the functioning of the central nervous and cardiovascular systems, promote the growth and development of bone and muscle tissue, regulate acid-base balance, maintain homeostasis and help in the prevention of diseases. In addition, fruits and berries contain a lot of dietary fiber, flavonoids, antioxidants, and other biologically active substances [6].

Black currant berries contain a whole complex of biologically active and nutritional substances (vitamins, phenolic compounds, organic acids, dietary fiber, micronutrients) that have a stimulating effect on many functions of the human body. The composition of sugars characterizing the nutritional value of berries is quantitatively dominated by fructose with a low content of glucose and sucrose [7]. Black currant and its processed products are used as auxiliary means to improve the quality and increase the storage capacity of the target products [8].

Black currant has a huge number of important components. 100 g of berries contain vitamin C – 200 mg, iron – 1.3 mg, potassium – 372 mg, caloric content – 45 kcal. It has a beneficial effect on the work of the heart and brain, strengthens blood vessels, eliminates intestinal problems; reduces inflammatory processes and promotes the regeneration of damaged cells; regulates glucose levels; calms the nervous system; reduces the harmful effects of radioactive elements; normalizes metabolic processes; prevents the growth of cancer cells [9].

The main sugars in black currant berries are fructose 48-60% of the total sugar content, glucose 38-47%, and sucrose [10]. Organic acids contained in black currant are represented by citric acid (75-97% of the total acid content), malic acid, quinic acid, and ascorbic acid [11]. The main organic acid found in blackcurrant pomace was citric acid, although malic acid was also identified [12]. Black currant berries contain significant amounts of dietary fiber, including 2.68% insoluble and 1.62% soluble [10].

The total content of phenolic compounds in berries varies from 598 to 2798 mg/100 g, the content of anthocyanins ranges from 160-411 mg/100 g, including delphinidin-3-O-glucoside, delphinidin-3-O-rutinoside, cyanidin-3-O-glucoside and cyanidin-3-O-rutinoside they are characteristic of black currants. 92-97% of the total amount of anthocyanins in black currants are cyanidin and delphinidin glycosides (3-O-glucoside and 3-O-rutinoside) [13].

The total antioxidant capacity of black currant, measured by the photometric FRAP (Ferric Reducing/Antioxidant Power) method using a photometric reagent – tripyridyltriazine, 1,10-phenanthroline, 2,2'-dipyridyl in terms of Fe^{3+} recovery intensity, is 51.6 ± 1.2 mmol Fe^{2+}/g, and is one of the highest compared to other berries [14]. Black currant fruits contain 116-342 mg/100 g of ascorbic acid and 160-411 mg/100 g of anthocyanins, which are the most common representatives of polyphenolic compounds in this fruit [15].

Studies show that the addition of blackcurrant powder in an amount of 10-15% by weight of flour improves the organoleptic and physico-chemical

parameters of sponge dough. The foaming ability of the mixture, the specific volume and porosity of the baked semi-finished product increase compared to the control, and the products acquire a finely porous, lush structure. The introduction of pear powder into the formulation of sugar biscuits in the amount of 2.5-3% by weight of sugar and fat solids does not change the organoleptic parameters, but increases the physiological value of the product.

The introduction of pear powder into the formulation of sugar biscuits is a promising direction for enriching confectionery products with biologically active substances and improving their organoleptic characteristics. Pears are rich in vitamins, minerals, and dietary fiber, which makes them attractive for use in the food industry [16].

Pear powder is obtained by drying and grinding pear fruits. It contains a significant amount of carbohydrates, mainly in the form of fructose and glucose, dietary fiber, vitamins (C, K, group B) and minerals (potassium, copper). Dietary fiber helps improve digestion, and vitamins and minerals increase the overall nutritional value of the product.

The addition of pear powder to sugar cookie dough affects its rheological properties. The dietary fibers present in the powder can bind water, changing the consistency of the dough and requiring adjustments to the formulation to achieve optimal plasticity. In addition, natural sugars from pear powder can promote caramelization, improving the color and flavor of the finished product [17].

The addition of pear powder affects the physico-chemical parameters of cookies, such as moisture, acidity and the content of reducing sugars. Dietary fiber can increase the moisture binding capacity of the product, which slows down its hardening and prolongs its shelf life. Natural sugars from pear powder can increase the overall sweetness of the product, which should be taken into account when dosing sugar in the formulation [18].

The use of pear powder in the production of sugar biscuits makes it possible to enrich the product with valuable nutrients, improve its organoleptic properties and extend its shelf life. However, when developing the formulation, it is necessary to take into account the effect of the powder on the rheological properties of the dough and the physico-chemical parameters of the finished product in order to ensure high quality and consumer attractiveness of the product.

The use of blackcurrant and pear powders in the production of sugar biscuits is a promising direction for enriching confectionery products with biologically active substances and improving their quality characteristics. Black currant is rich in vitamins C, P and group B, and also contains a significant amount of anthocyanins and pectin substances with antioxidant properties. Pears, in turn, are a source of dietary fiber, organic acids, and trace elements such as potassium and magnesium. The introduction of powders from these fruits into the cookie formulation helps to increase its nutritional value and functional properties.

The use of fruit and berry powders affects the technological properties of the dough and the finished product. The addition of blackcurrant powder improves the structural and mechanical properties of the dough, increasing its viscosity and plasticity, which facilitates the molding of products. Pear powder, due to its high content of pectin substances, can affect the hydration properties of the dough, helping to retain moisture and prevent staling of the finished product. In addition, the natural antioxidants present in fruit and berry powders can slow down the oxidation of fats, increasing the shelf life of products.

Materials and methods. Organoleptic and physico-chemical research methods were used to carry out the work. The following research materials were selected:

- GOST 26574-85. Wheat flour baking;
- currant and pear powder;
- control samples of sugar cookies;
- experimental samples of sugar cookies.

Quality indicators were determined by the methods described in the following regulatory documents: GOST 5897-90 Methods for determining organoleptic quality indicators; GOST 5898-87 Methods for determining acidity and alkalinity; GOST 5900-73 Methods for determining moisture and dry substances; GOST 10114-80 Method for determining wetness.

Methods for determining organoleptic parameters according to GOST 5897-90 include visual assessment of the appearance and color of the product, tactile analysis of consistency, as well as tasting to determine taste and odor. The assessment is carried out under standardized conditions using standards or scales for quantitative and qualitative characteristics. Trained experts participate in the process, and the results are recorded in protocols for further analysis and comparison with established quality standards.

According to GOST 5898-87, the method for determining alkalinity is based on titration of a sample of a food product solution with a standard acid solution (HCl) in the presence of an indicator such as phenolphthalein. The sample of the substance is dissolved in distilled water and titrated until the color of the indicator changes, which indicates that a neutral reaction has been achieved. The amount of acid consumed is fixed, and based on it, the alkalinity is calculated in established units.

GOST 5900-73 describes the determination of humidity using a «SESH-3M» drying cabinet by weighing a pre-prepared sample before and after drying. A sample of the product with a mass set by the standard is evenly distributed on a pallet and placed in a drying cabinet, where it is kept at a set temperature (105°C) for a certain time to a constant mass. After cooling in the desiccator, re-weighing is carried out, and humidity is calculated from the difference in weight before and after drying, expressed as a percentage of the initial mass of the sample.

The process of obtaining powder from pears includes the following steps: receiving raw materials, washing fruits, removing seeds, slicing 0.3-0.5 mm thick, drying in a drying unit, grinding in a laboratory mill, sieving through a sieve and obtaining the finished product – powder from pears.

The process of obtaining powder from fruits is different from the process of obtaining powder from berries. These differences are related to the physical characteristics, shape and structure of fruits and berries.

To obtain powder from pears and black currants, an electric Neptune dryer was used, designed for drying vegetables and fruits. The pears were sliced 0.3-0.5 mm thick and dried at a temperature of 55-70°C for 15 hours. To dry the black currant and then obtain the powder, a temperature regime of 40-50°C with a duration of 10-15 hours was used, controlling the degree of drying of the berries.

Dried fruits and berries were crushed using an LZM-1M laboratory mill. The resulting powder from the pear was sieved through a laboratory sieve made of silk material. At the same time, blackcurrant powder, due to the peculiarities of the physical structure of the berries, did not require additional sieving.

Research results and discussion. The chemical composition of blackcurrant and pear powders has a significant effect on the quality of sugar cookies. Currant

powder is rich in organic acids, vitamins (especially vitamin C), pectin and anthocyanins, which give baked goods a rich taste, light acidity and a natural dark shade. Due to the high content of antioxidants, such additives can prolong the freshness of the product, preventing the oxidation of fats. In addition, currant pectin improves the texture of cookies, making them softer and more airy.

Pear powder, in turn, is characterized by a high content of natural sugars, fiber and tannins. Its use gives the liver a sweet taste and a subtle fruity aroma. Natural sugars from pears contribute to caramelization, improving the color of the cookie crust, and fiber increases its nutritional value. However, an excess of pear powder can make the dough more dense, which should be taken into account when developing the recipe.

Table 1

Macronutrient composition of pear powder

Name of the macronutrient	Mass fraction, g/100 g
Carbohydrates	48.20
Dietary fiber, including:	35.94
Pectin substances	8,61
pectin	0.91
pro pectin	7.70
hemicellulose	11.20
cellulose	16.13
Proteins	4.48
Lipids	0.12
Mineral substances	4,20
Organic acids	1.05

Based on the data in Table 1, it can be concluded that pear powder is a product with a high carbohydrate content (48.20 g/100 g), which makes it a valuable source of energy. The substantial amount of dietary fiber (35.94 g/100 g), including pectins (0.91 g), propectins (7.70 g), hemicellulose (11.20 g) and cellulose (16.13 g), emphasizes its importance for maintaining the normal functioning of the digestive system.

In addition, pear powder is characterized by a moderate protein content (4.48 g/100 g), low lipid content (0.12 g/100 g), as well as the presence of minerals (4.20 g/100 g) and organic acids (1.05 g/100 g). These indicators indicate its high nutritional value and wide application possibilities in the food industry, especially for the creation of functional and fortified products.

Table 2

Chemical composition of 100 g of black currant

Chemical Substance	Quantity
1	2
Water, g	82.0-85.0
Proteins, g	1.0-1.4
Fats, g	0.2-0.4
Carbohydrates, g	6.6-15.4
Mono- and disaccharides, g	6.7-13.7
Fiber, g	3.0
Starch, g	0.6-2.7

Table 2 (continued)

1	2

Pectin, g	0.38-1.5
Organic acids, g	2.2-3.9
Ash, g	0.9
Vitamin β-carotene, mg	0.08-0.11
Vitamin E, mg	0.72
Vitamin B_1, mg	0.03
Vitamin B_2, mg	0.04
Vitamin B_6, mg	0.13
Vitamin B_9, mcg	5.0
Vitamin PP, mg	0.3

Based on the data in Table 2, it can be concluded that the main energy component is carbohydrates (6.6-15.4 g/100 g), among which mono- and disaccharides account for a significant proportion (6.7-13.7 g/100 g). The content of dietary fiber, including fiber (3.0 g), pectin (0.6-2.7 g) and starch (0.38-1.5 g), is also noted, which emphasizes the benefits of the product for maintaining the normal functioning of the digestive system.

In addition to carbohydrates, black currant contains a small amount of proteins (1.0-1.4 g) and fats (0.2-0.4 g), as well as organic acids (0.38-1.5 g), which help to improve the taste and provide antioxidant properties. The berry also contains minerals (ash – 2.2-3.9 g) and vitamins, including beta-carotene, vitamin E, as well as B and PP vitamins. This composition makes black currant a valuable product for dietary and therapeutic nutrition.

Table 3

The effect of pear powder on gluten quality

Option	Gluten content, %	Indicator for the IDC device-1
The control sample	32	87,9
1,5 %	31	83,6
3%	29.7	80,1
4,5%	29.5	79,3
6%	29	78,9
7,5%	28,7	78,5

Based on the data in Table 3, conclusions can be drawn about the effect of adding pear powder on the gluten content and the test quality index according to the IDK-1 device. With an increase in the proportion of pear powder in the samples, a decrease in gluten content is observed: from 32% in the control sample to 28.7% with the addition of 7.5% powder. This indicates that pear powder can be used to adjust the texture of the dough, making it less elastic and softer.

Based on the data analysis, it was found that adding 6% pear powder to the sugar cookie recipe is the optimal solution. The gluten content decreased from 32% (control sample) to 29% with the addition of 6% pear powder, which improved the plasticity and softness of the dough. This is due to the high sugar content in pear powder, which interact with flour proteins and form glycoproteins that strengthen the structure of the dough.

Table 4

Physico-chemical parameters of sugar biscuits with the addition of 6% pear powder and 1.5; 3; 4.5; 6; 7.5% currant powder

Indicators according to GOST	The control sample	6%+1.5	6%+3	6%+4.5	6%+6	6%+7.5
Humidity, %	6	6.3	6.9	7.2	7.8	8.5
Wetness, %	152.1	153.8	159.5	164.7	171.6	182.3
Alkalinity, deg	1.70	1.70	1.72	1.72	1.74	1.76

The addition of pear and currant powders increases the moisture and wetness of the biscuits, improving their softness and structural stability. With an increase in the concentration of blackcurrant powder, humidity (up to 8.5%) and water absorption (up to 182.3%) increase. The alkalinity varies slightly, which indicates the stability of the acid-base balance of the product.

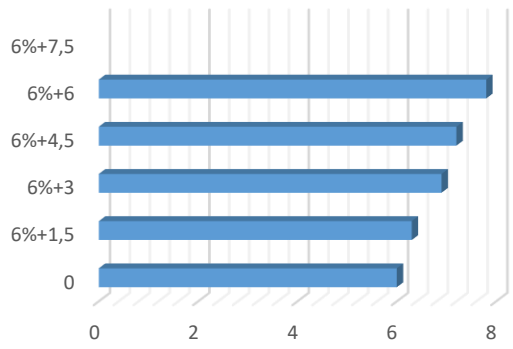


Fig. 1 – Mass fraction of moisture in finished products, %

Based on the data (Fig. 1), it can be noted that the addition of blackcurrant powder in combination with 6% pear powder has a significant effect on the moisture index. In the control sample, the humidity index is 6%. When 1.5% blackcurrant powder is added, the humidity increases to 6.3%, and when 3% is added, it increases to 6.9%.

A further increase in the content of blackcurrant powder leads to a more pronounced increase in humidity: at 4.5% it is 7.2%, and with a maximum addition of 7.5% it reaches 8.5%. This indicates the ability of powders to bind and retain moisture, which may be due to their chemical composition, in particular, the high content of pectins and other hydrophilic substances.

Thus, the use of a combination of pear and currant powders makes it possible to increase the moisture content of the product, which is important for improving its texture and increasing shelf life. These results emphasize the prospects of using these powders in functional food formulations.

Based on the graph (Fig. 2), it can be concluded that the addition of blackcurrant powder in combination with 6% pear powder increases the wetting index. In the control sample, the wetness index is 152.1%. With the addition of 1.5% blackcurrant powder, the wetness increases to 153.8%, and with an increase in the proportion of blackcurrant powder to 7.5%, it reaches 182.3%. This indicates the synergistic effect of the interaction of the two powders, which increases the ability of the dough to absorb water.

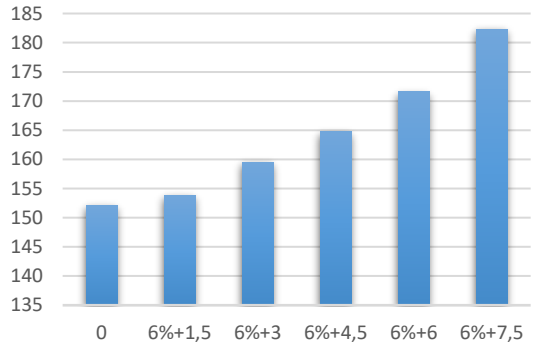


Fig. 2 – Wetness of finished products, %

The dynamics of wetness growth is explained by the high content of hydrophilic components, such as dietary fiber and pectin, in blackcurrant powder. This property allows the use of this powder combination in product formulations where increased moisture capacity is required, for example, in bakery or confectionery products, providing improved structural and textural characteristics of finished products.

Based on the conducted research, it was found that the combination of 6% pear powder and 4.5% blackcurrant powder is the most optimal option for developing a sugar cookie recipe. This combination of ingredients ensures balanced moisture (7.2%) and wetness (164.7%), which positively affects the structure of the dough, its plasticity and formability. Due to these properties, the organoleptic characteristics of the finished product are improved, including softness and delicacy of texture.

In addition, the introduction of powders in this proportion enriches the product with functional components such as dietary fiber and pectins, which are contained in the composition of pear and currant powders. This makes it possible to increase the nutritional value of cookies while preserving their traditional taste qualities. Thus, this formulation can be recommended for use in the production of sugar cookies with improved quality characteristics and functional properties.

Conclusion. The study showed that the use of powders from pears and currants has a positive effect on the quality of both semi-finished products and finished products. The addition of fruit powders improves the textural characteristics of the dough, makes it more plastic and soft, and also provides high water absorption capacity. These changes improve the process of forming dough blanks, facilitating their processing and creating favorable conditions for baking.

Pear and black currant, acting as functional ingredients, enrich the chemical composition of the finished product. The high content of sugars, dietary fibers, vitamins and organic acids allows you to increase the nutritional value of sugar cookies by adding useful substances that have a beneficial effect on the human body. The inclusion of these ingredients also enhances the taste characteristics of the products, adding fruity notes and natural sweetness.

Thus, pear and blackcurrant powders not only improve production processes, but also contribute to the creation of functional products. The use of these ingredients opens up prospects for the development of confectionery products with improved organoleptic and nutritional properties that meet modern consumer requirements for healthy and high-quality nutrition.

References

1. Shaburova G.V., Lukyanova E.A. Fruits and berries in the technology of bakery and flour confectionery products //Innovative machinery and technology. – 2018. – Vol. 5. – No. 4. – P. 35-38.
2. Kuznetsov M.G., Dubkova, N.Z., Kharkov V.V. et al. Study of power consumption in vibromixing apparatus during Jerusalem artichoke drying //Collection of scientific papers of the International Scientific and Practical Conference Series: Earth and Environmental Science: Voronezh, 2021. – P. 72-76.
3. Kuznetsov M.G. Processing of vegetable raw materials //Collection of scientific papers of the II International Scientific and Practical Conference Development of agriculture and rural areas in the context of economic modernization: Proceedings: Kazan, 2020. – P. 111-113.
4. Bakin I.A. et al. The use of secondary berry raw materials in the technology of confectionery and bakery products //Machinery and technology of food production. – 2017. – Vol. 45. – No. 2. – P. 5-12.
5. Merenkova S.P., Polyakova E.L. Experimental substantiation of the use of berry raw materials in the technology of enriched flour confectionery products //Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and biotechnology. – 2018. – No.2. – P 56-62.
6. Garkina P.K., Pshenitsyn D.S. Fruit and vegetable raw materials in the technology of bakery and flour confectionery products //Innovative machinery and technology. – 2022. – Vol. 9. – No. 3. – P. 12-18.
7. Prichko T.G., Droficheva N.V., Smelyk T.L. Chemical quality parameters of berries of black currant cultivars //Scientific Works North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making. – 2019. – Vol. 25. – P. 123-127. https://doi.org/10.30679/2587-9847-2019-25-123-127. [in Russian].
8. Cho J., Kim H.-J., Kwon J.-S., Kim H.-J., Jang A. Effect of Marination with Black Currant Juice on the Formation of Biogenic Amines in Pork Belly during Refrigerated Storage //Food Science of Animal Resources. – 2021. – Vol. 41(5). – P. 763-778. https:// doi.org/10.5851/kosfa. 2021.P.34-42.
9. Kuznetsov M.G., Kuznetsova A.M. The use of non-traditional raw materials (Black currant) in the production of rye bread //[?]. – 2023. – P. 228.10.
10. Akimov M.Yu., Bessonov V.V., Kodentsova V.M., Eller K.I., Vrzhesinskaya O.A., Beketova N.A., et al. Biological value of fruits and berries of Russian production //Problems of Nutrition. – 2020. – Vol. 89(4). – P. 220-232. https://doi.org/10.24411/0042- 8833-2020-10055. [in Russian].
11. Tian Y., Laaksonen O., Haikonen H., Vanag A., Ejaz H., Linderborg K., et al. Compositional Diversity among Blackcurrant (Ribes nigrum) Cultivars Originating from European Countries. //Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2019. – Vol. 67(19). – P.5621-5633. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b00033.
12. Ejaz A., Waliat S., Afzaal M., Saeed F., Ahmad A., Din A., et al. Biological activities, therapeutic potential, and pharmacological aspects of blackcurrants (Ribes nigrum L) //A comprehensive review. Food Science and Nutrition. – 2023. – Vol. 11(10). – P. 5799-5817. https://doi.org/10.1002/fsn3.3592.
13. Kodentsova V.M., Risnik D.V., Serba E.M., Abramova M., Sokolova E.N., Kryuchkova E.R., Rimareva L.V. Prospects of complex processing of black currant berries //Machinery and technology of food production. – 2024. – No. 3.
14. Kowalski R., Gustafson E., Carroll M., de Gonzalez M.E. Enhancement of Biological Properties of Blackcurrants by Lactic Acid Fermentation and Incorporation into Yogurt. A Review. //Antioxidants. – 2020. – Vol. 9(12). – P. 1194. https://doi.org/10.3390 / antiox9121194.
15. Trych U., Buniowska M., Skąpska S., Kapusta I., Marszałek K. Bioaccessibility of Antioxidants in Blackcurrant Juice after Treatment Using Supercritical Carbon Dioxide //Molecules. – 2022. – Vol. 27(3). – P. 1036. https://doi.org/ 10.3390/ molecules 27031036.
16. Sepik E.O. Korovina V.A. Introduction of powder from Siberian pear fruits into the shortbread recipe //Innovative trends in the development of Russian science:

proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference of Young Scientists. – Krasnoyarsk, 2018. – P. 281-284.
17. Viktorova E.P. et al. Investigation of the effect of the food additive “Pear powder” on the quality and properties of wheat flour //New technologies. – 2018. – No. 2. – P. 18-23.
18. Gusakova G.S., Evstafyev S.N. The use of pear pomace in food production //Innovative machinery and technology. – 2016. – Vol. 3. – No. 3. – P. 5-11.

Received: 09 June 2025
Accepted: 16 January 2026

Д.Б. Абдраимова[1], Д.А. Шаншарова[1]

[1]Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан

КОНДИТЕРЛІК ӨНІМДЕРДІҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ КОМПОНЕНТТІК ҚҰРАМНЫҢ ӘСЕРІН ТАЛДАУ

Аңдатпа. Мақалада алмұрт пен қара қарақат ұнтақтарын қантты печенье мысалында жартылай фабрикаттар мен дайын өнімдердің сапасына әсерін зерттеу нәтижелері көрсетілген. Алмұрт және қара қарақат ұнтақтарының физико-химиялық және технологиялық қасиеттері, олардың қамырдың құрылымына, текстурасына және дайын өнімнің органолептикалық сипаттамаларына әсері қарастырылды. Жартылай фабрикаттар мен дайын ұннан жасалған кондитерлік өнімдердің технологиялық қасиеттерінің өзгерістері құрамының өзгеруіне байланысты ұсынылған. Зерттеу барысында алмұрт ұнтағының оңтайлы концентрациясы 6%, ал қарақат ұнтағының 4,5% екені анықталды. Бұл қамырдың пластикалылығын жақсартып, су сіңіргіштігін арттырып, өнімді дәрумендермен, органикалық қышқылдармен және антиоксиданттармен байытатыны және дайын өнімнің функционалдық қасиеттерін жақсартатыны анықталды.

Тірек сөздер: алмұрт ұнтағы, қара қарақат ұнтағы, қантты печенье, функционалды ингредиенттер, табиғи қоспалар.

Д.Б. Абдраимова[1], Д.А. Шаншарова[1]

[1]Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация. В статье представлены результаты исследования влияния добавления порошков из груши и черной смородины на качество полуфабрикатов и готовых изделий, на примере сахарного печенья. Рассмотрены физико-химические и технологические свойства грушевого и черносмородинового порошков, их влияние на структуру теста, текстуру и органолептические характеристики готового продукта. Представлены изменения технологических свойств полуфабрикатов и готовых мучных кондитерских изделий в зависимости от изменения компонентного состава. Установлено, что оптимальная концентрация грушевого порошка составляет 6% и 4,5% черносмородинового порошка обеспечивает улучшение пластичности теста, повышение водопоглощения, обогащая продукт витаминами, органическими кислотами и антиоксидантами, усиливает функциональные свойства готового изделия.

Ключевые слова: грушевый порошок, смородиновый порошок, сахарное печенье, функциональные ингредиенты, натуральные добавки.

ҒТАМР 65.33.03

А.Ә. Тоқтабек[1] – *негізгі автор*, ©
Л.А. Мамаева[2], Hülya Gül[3], А.Е. Отуншиева[4]

[1,4]Докторант, [2]Биол. ғылым. канд, қауымдас. профессор, [3]Профессор

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0002-9429-3873 [2]https://orcid.org/0000-0001-5152-8364 [3]https://orcid.org/0000-0002-6791-817X [4]https://orcid.org/0000-0002-5446-0227*

[1,2]Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан
[3]Сүлейман Демирел атындағы университеті, Ыспарта,Түркия
[4]Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

@ *[1]aijan700@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/LZHZ9319

ЙОГУРТ ҰНТАҒЫМЕН БАЙЫТЫЛҒАН МАКАРОН ӨНІМДЕРІНІҢ ОҢТАЙЛЫ РЕЦЕПТУРАСЫН ЖЕТІЛДІРУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Қазіргі уақытта тағамдарға сұраныстың артуы, талаптарды сақтаумен қоректік профильдерді жақсартуға бағытталған макарон өнімдерін байытудағы инновациялардың пайда болуына әсер етуде. Зерттеу жұмыстары йогурт ұнтағы қосылған макарон өнімдерінің сапасын бағалау үшін жүргізілді. Онда қатты бидай жармасы әртүрлі деңгейде (0%, 10%, 15%, 20% және 30%) йогурт ұнтағымен алмастырылды. Бақылау нысаны ретінде қатты бидай ұнынан дайындалған макарон өнімдері алынды. Зерттеулер көрсеткендей крахмал-ақуыздың өзара әрекеттесуіне және диеталық талшық үлесіне байланысты йогурт ұнтағымен фортификациясының протеин мазмұнын айтарлықтай арттырғанын (30% алмастыру кезінде 28,3%-ға дейін) және болжамды гликемиялық индексті (pGI) бақылаумен салыстырғанда 12-18%-ға төмендеткенін көрсетті. Текстуралық талдау ≤ 20% алмастырулар қолайлы қаттылық пен пісіру шығынын сақтағанын, ал 30% йогурт ұнтағы құрылымның әлсіреуіне әкелетіні байқалды. Сенсорлық бағалау 15-20% йогурт ұнтағы деңгейінде оңтайлы қолайлылықты, жақсартылған кремділік пен жұмсақ иістілікке әсер ететіндігі байқалды. Алынған нәтижелер тұрақты және денсаулыққа бағытталған тағам инновациясының жаһандық трендтеріне сәйкес келетін қоректік заттармен байытылған, төмен гликемиялық макарон өнімдерін әзірлеуге арналған көп функциялы ингредиент ретінде йогурт ұнтағының әлеуетін көрсетеді.

Тірек сөздер: макарон өнімдері, йогурт ұнтағы, бидай ұны, реологиялық қасиеттер, тағамдық құндылық, функционалдық тағам, микробиологиялық қауіпсіздік, рецептура, қоспалар.

Тоқтабек, А.Ә. Йогурт ұнтағымен байытылған макарон өнімдерінің оңтайлы рецептурасын жетілдіру және олардың құрылымдық қасиеттерін зерттеу [Мәтін] / А.Ә. Тоқтабек, Л.А. Мамаева, Hülya Gül, А.Е. Отуншиева // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.60-70. https://doi.org/10.55956/LZHZ9319

Кіріспе. Макарон өнімдері – дүниежүзілік тағам мәдениетінде кең таралған тағам түрі. Олардың өндірісі Италия мен Францияда XVIII ғасырдан бастау алғанымен, Қазақстан үшін бұл сала XX ғасырдың соңында ғана дами

бастады. ҚР Ұлттық статистика бюросының мәліметтері бойынша, макарон өндірісі елімізде қарқынды өсіп келеді .

Макарон өнімдерін шығару технологиясының өзіне тән ерекшеліктері бар. Макарон өнімдері-әлемге кең таралған, әрбір жаңұяның рационына кіретін жеңіл тағамдардың бірі. Олар тағамдық құндылығы жоғары, құны арзан әрі тез дайындалады[1,2].

Макарон өнімдері – дүние жүзінде кең таралған, күнделікті рационда жиі қолданылатын тағамдардың бірі. Олардың өндірісі технологиялық тұрғыдан тиімді, бағасы қолжетімді және сақтау мерзімі ұзақ. Дегенмен, дәстүрлі емес макарон өнімдері көбінесе тек көмірсу көзі болып табылады және олардың ақуыздық, витаминдік, функционалдық құндылығы төмен деңгейде қалып отыр. Сондықтан қазіргі таңда макарон өнімдерін функционалдық ингредиенттермен нығайту – өзекті ғылыми және өндірістік міндеттердің бірі болып саналады.

Осы тұрғыда ерекше назар аударатын ингредиенттердің бірі – йогурт ұнтағы. Йогурт ұнтағы – ақуызға, кальцийге, пробиотикалық микроағзаларға және биологиялық белсенді заттарға бай компонент. Йогурт ұнтағының тағамдық құндылығы жоғары, құрылымдық тұрақтылығы жақсы және сақтау мерзімі ұзақ, бұл оны түрлі тағамдық жүйелерге, соның ішінде макарон өнімдеріне қосуды тиімді етеді. Сонымен қатар, йогурт ұнтағы сүт өнеркәсібінің жанама өнімі ретінде қолжетімді және оны қолдану өндірістік қалдықтарды азайтып, тұрақты тамақ жүйелерін қалыптастыруға мүмкіндік бере алады.

Йогурт ұнтағын макарон өндірісіне қолдану өнімнің құрамындағы ақуыз сапасын арттырып, сіңімділігін жақсартып қана қоймай, дайын өнімнің органолептикалық көрсеткіштеріне (дәмі, түсі, иісі, текстурасы) оң әсерін тигізеді. Сонымен қатар, мұндай өнімдердің гликемиялық индексі төмендеу арқылы оларды диабетпен немесе метаболизмдік бұзылыстары бар адамдардың рационына енгізу мүмкіндігі туып отыр.

Азық-түлік өнімдерін байытудағы соңғы ғылыми жетістіктер тағамдық құндылықты арттыру мақсатында макарон өнімдеріне өсімдік протеиндерін (мысалы, бұршақ, соя, ноқат ұнтақтары), диеталық талшықтарды (мысалы, инулин, пектин, бета-глюкан), сондай-ақ қоректік заттарға бай ауылшаруашылық жанама өнімдерін оқосуға бағытталған.

Мұндай байытылған макарон өнімдері ақуыз мөлшерін, биологиялық құндылықты, функционалдық қасиеттерді арттыра отырып, тұтынушылардың денсаулыққа пайдалы тағамдарға деген сұранысын қанағаттандыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, мұндай технологиялар өндірістік қалдықтарды (мысалы, сүт өнеркәсібінің жанама өнімдері) қайта өңдеудің тиімді тәсілі ретінде қарастырылуда[3].

Құрамында ақуызы бар қоспалар, соның ішінде сүт макарон өнімдерінің биологиялық құндылығын арттыра отырып ақуыздың сіңімділігін және аминқышқылдарының құрамын жақсартады [4]. Макарон өнімдеріне йогурт ұнтағын қосу оның тағамдық профилін және сапа атрибуттарын айтарлықтай жақсарта алады. Макарон өнімдеріне кептірілген тәтті йогурт ұнтағын қосу жалпы сенсорлық сапаға әсер етпей, ылғал деңгейін, түс параметрлерін (қызару және сарғыштық) және ісіну жағдайларын төмендете отырып, күл мен ақуыздың құрамын, оңтайлы пісіру уақытын және суды сіңіруді айтарлықтай арттыратындығы анықтады. Сарысу протеинінің изолятын қосу жарықтылық пен сарғыштықты жақсарта отырып тұтқырлық пен қаттылықты және жалпы қысу-экструзия энергиясын

(15%) төмендетті, сонымен бірге пісіру шығынын (13-18%) арттырды және ақуыз құрамындағы тағамдық сапасын 48% дейін жақсарта алды. Жалпы сүт өнімдерін макарон өнімдеріне қосу кезінде алмастыру жылдамдығын мұқият реттеу керек. Осы тұрғыда макарон өнімдеріне сарысу ақуыздарын қосу оның химиялық құрамы мен физикалық сипаттамаларын жақсартуға негіз бола алады. Дегенмен, жоғары концентрацияларда (≥ 30%) сарысу ақуыздары макарон өнімдерінің сапасына ықтимал зақым келтіруге әкеліп соғатын текстураға теріс әсер етуі мүмкін.Нан өнімдері мен таңғыштар сияқты тамақ жүйелерінде йогурт ұнтағы қолдану ақуыздың құрамын және сөре тұрақтылығын жақсартады. Сүт өнімдерінде сүт ұнтақтарымен байыту құрылымды жақсартады және синерезді азайтады [5], бұл йогурт ұнтағы макарон матрицаларын өзгерту мүмкіндігін көрсетеді. Дегенмен, ешбір зерттеулер йогурт ұнтағы макарон өнімдеріндегі рөлін, әсіресе оның крахмал-ақуыздың өзара әрекеттесуіне, сіңімділігі мен сенсорлық қасиеттеріне әсерін жүйелі түрде бағалаған жоқ.

Бұл зерттеу нәтижесінде қатты бидай ұнын 10-30% деңгейінде йогурт ұнтағымен алмастыру арқылы бұл олқылықтың шешімін табуға болатындығы келтірілген. Йогурт ұнтағы ақуыздың сапасын жақсартады, крахмалдың қорытылуын өзгертеді және текстураның тұтастығын бұзбай функционалдық артықшылықтар береді деп болжанды. Зерттеу сүт жанама өнімдерін бағалау арқылы тұрақты азық-түлік стратегияларына сәйкес келеді және қоректік заттарға бай, төмен гликемиялық тағамдарға тұтынушылардың сұранысына жауап беретін, реологиялық, қоректік және сенсорлық талдауларды біріктіре отырып, сүт өнімдерінің инновацияларын дәнді дақылдарға негізделген өнім дизайнымен байланыстырып, келесі ұрпақтың нығайтылған макарон өнімдерін әзірлеу үшін кешенді негізді қамтамасыз етуге бағытталынған.

Йогурт ұнтақтары әртүрлі тағамдық және емдік құндылықтарға ие. Ісікке қарсы белсенділік стартерлік бактериялардың жасушалық қабырғасымен байланысты, сондықтан белсенділік кептіруден кейін де сақталады. Йогурт ұнтағын кептірудің негізгі мақсаты оны тоңазытқышта сақтауды қажет етпей, жоғары сапалы ұнтақ түрінде сақтау болып табылады. Мұндай ұнтақты мұздатып кептіру, шашырату, микротолқынды пеште кептіру және вакуумда кептіру сияқты әртүрлі әдістермен дайындауға болады. Кептіру алдында йогуртты мата қалта әдісімен, механикалық, центрифугалаумен, ультрафильтрациямен және вакуумдық концентрациямен концентрациялау тиімді. *S. thermophilus L. bulgaricus*-қа қарағанда йогуртты мұздату кезінде, сондай-ақ бүрку арқылы кептіру кезінде сезімталдықты азырақ көрсетеді. Денсаулыққа пайдасы туралы кез келген шағымдармен сатылатын мәдени өнімдер жарамдылық мерзімі аяқталған кезде ұсынылған ең аз 10^6 CFU/g өлшемдеріне сәйкес болуы керек. Мұздатылған кептірілген йогуртты 4°C температурада 1-2 жылға дейін сақтауға болады. 1 жыл сақтаудан кейін ұнтақ әдетте 10^6 CFU/g жалпы бактериялар санын қамтиды. Белсенді дақылдарға спреймен кептірілген йогурт үшін салқын, құрғақ жағдайларда 1 жыл кепілдік беріледі, оны нан және кондитер өнеркәсібінде қолдануға болады[6,7]. Макарон – дәстүрлі итальяндық тағам. Оны балалар мен қарт адамдар кеңінен тұтынады, бірақ ең басты мәселе – макарон өнімдері құрамындағы қоректік заттар мен диеталық талшықтардың аздығына байланысты пайдалы тағам болып саналмайды. Өнімді йогурт ұнтағы сияқты кейбір ингредиенттерді қосу арқылы пайдалырақ және дәмді етуге болады.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Макарон өнімінің сапасы алдыңғы шикізаттың сапасына тікелей қатысты болғандықтан, макарон өнімдерін шығаруға пайдаланылатын шикізаттардың басты түрлері және олардың негізгі қасиеттері қарастырылды. Макарон өнімдерін шығаруға пайдаланылатын шикізаттардың негізгі түрлеріне ең алдымен ұн жатады, ол бидай астығын тартып үгіту нәтижесінде алынады, сонымен қатар су жатқызылады. Макарон өнімдерін өндіру барысында негізінен, ұнның қатты бидайдан алынған негізінен жергілікті нарықтан сатып алынған йогурт ұнтағы мен жарма ұны пайдаланылады. ГОСТ 14849-89 Макарон өнімдері. Қабылдау ережелері және сапаны анықтау әдістері. ГОСТ 14849-89 стандарт макарон өнімдеріне қолданылады және оларды қабылдау ережелері мен сапасын анықтау әдістерін белгілей алады.

ГОСТ 14849-89 стандарттары макарон өнімдерінің қабылдау ережелері мен сапасын анықтау әдістерін белгілейді. ГОСТ 14849-89 өнімдерге қойылатын талаптарды (сапа, текстура, дәм және иісі) және олардың жоғары сапасын бақылауды қамтамасыз етеді.Макарон өнімдерінің өндірісін қолдау мен дамыту стратегияларын енгізу үшін маңызды бағыттардың бірі болып табылады.

Зерттеу жүргізу барысында келесідей 5 үлгі алынды:

№1 үлгі – эталон үлгісі, рецептурасы: 100 г ұн, 11 г жұмыртқа, 35 мл су (К1);

№2 үлгі – 90/10 қатынастағы үлгісі, рецептурасы: 90 г ұн, 10 г йогурт ұнтағы, 11 г жұмыртқа, 35 мл су (А1);

№3 үлгі – 85/15 қатынастағы үлгісі, рецептурасы: 85 г ұн, 15 г йогурт ұнтағы, 11 г жұмыртқа, 35 мл су (А2);

№4 үлгі – 80/20 қатынастағы үлгісі, рецептурасы: 80 г ұн, 20 г йогурт ұнтағы, 11 г жұмыртқа, 35 мл су (А3);

№5 үлгі – 70/30 қатынастағы үлгісі, рецептурасы**:** 70 г ұн, 30 г йогурт ұнтағы, 11 г жұмыртқа, 35 мл су (А4).

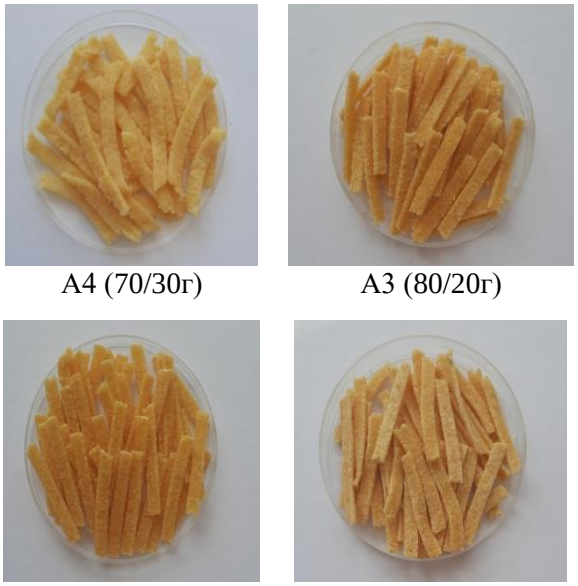
Зерттеу нәтижелері. Бес үлгі (эталон үлгісі, А1, А2, А3 және А4) құрамында тек бидай ұны (100%) бар бақылау ретінде 1-суретте көрсетілгендей эталон үлгісі қолданылды, ал А1, А2, А3 және А4 үлгілері әртүрлі концентрациядағы бидай ұны мен йогурт ұнтағы арқылы дайындалды.

Сурет 1. Макарон өнімдерінің №1 эталон үлгісі

Макарон өнімдерінің үлгілері (А1,А2, А3 және А4) 100:00 қатынасында қатты бидай ұны мен йогурт ұнтағының әртүрлі концентрациясын пайдалана отырып дайындалды; 90:10; тиісінше 85:15, 80:20, 70:30. Әрбір жағдайда дайындалған макаронның мөлшері тиісті құрамның 500 гр болды. Қалыптың алдыңғы жағы дайын өнімнің ұзындығы әрбір үлгі үшін 4 см болатындай етіп

реттелді. Макарон үлгісі пеште 55ºС температурада 1 сағат ұсталды. Кептірілген өнім полиэтилен пакеттерге оралған. Кептірудің негізгі мақсаты үлгідегі ылғалдылықты шамамен 12-13% дейін төмендету болды. Әртүрлі үлгідегі өнімдер тығыздығы жоғары полиэтилен пакеттерге оралған. Алынған кептірілген өнімдер пісіру уақыты, суды талдау, ылғалдылық, құрылым және сенсорлық талдау сияқты қосымша зерттеулер үшін пайдаланылды.

Бақылау (эталон үлгісі) және басқа үлгілердің (А1, А2, А3 және А4) 2-суретте көрсетілгендей дайындау кезінде алынған әр түрлі шикізат түрлерінің шамамен құрамы мен концентрациясы 1, 2, 3, 4 және 5-кестеде келтірілген.



Сурет 2. Макарон өнімдерінің №2 (А1), №3 (А2), №4 (А3) және №5 (А4) үлгілері

Дайындалған үлгілер әрі қарай зерттеу үшін жабық полиэтилен пакетте құрғақ және салқын жерде сақталды.

Кесте 1

№1 үлгі бойынша алынған әртүрлі шикізат түрлерінің шамамен құрамы мен концентрациясы

Рецептура: 100 г ұн, 11г жұмыртқа, 35мл су (К1)				
Макарон пісірілгенге дейін				
№	Ұзындығы	Қалыңдығы	Ені	Салмағы, г
1	46,0	2,3	5,8	25,20
2	45,1	2,3	5,9	
3	46,1	2,3	5,7	
4	42,8	2,1	5,9	
Макарон пісірілгеннен кейін				
1	42,2	2,3	6,1	73,92
2	44,2	2,6	6,9	
3	43,3	2,8	6,9	
4	42,4	2,4	6,9	

Кесте 2

№2 үлгі бойынша алынған әртүрлі шикізат түрлерінің шамамен құрамы мен концентрациясы

Рецептура: 90г ұн, 10г йогурт ұнтағы, 11г жұмыртқа, 35 мл су (А1)				
Макарон пісірілгенге дейін				
№	Ұзындығы	Қалыңдығы	Ені	Салмағы, г
1	41,8	2,2	5,7	25,48
2	42,1	2,2	5,7	
3	45,8	2,1	5,8	
4	45,0	2,0	5,8	
Макарон пісірілгеннен кейін				
1	58,7	2,6	7,2	72,46
2	58,3	2,6	7,2	
3	58,5	2,6	7,2	
4	58,0	2,7	7,0	

Кесте 3

№3 үлгі бойынша алынған әртүрлі шикізат түрлерінің шамамен құрамы мен концентрациясы

Рецептура: 85 г ұн, 15 г йогурт ұнтағы, 11 г жұмыртқа, 35 мл су (А2)				
Макарон пісірілгенге дейін				
№	Ұзындығы	Қалыңдығы	Ені	Салмағы, г
1	44,4	2,0	6,1	25,13
2	41,6	2,1	5,9	
3	41,1	2,0	5,8	
4	42,5	2,3	5,9	
Макарон пісірілгеннен кейін				
1	50,4	2,6	7,4	54,66
2	52,5	2,6	7,2	
3	52,0	2,6	7,1	
4	52,7	2,6	7,2	

Кесте 4

№4 үлгі бойынша алынған әртүрлі шикізат түрлерінің шамамен құрамы мен концентрациясы

Рецептура: 80 г ұн, 20 г йогурт ұнтағы, 11 г жұмыртқа, 35 мл су (А3)				
Макарон пісірілгенге дейін				
№	Ұзындығы	Қалыңдығы	Ені	Салмағы, г
1	40,1	2,1	6,1	25,16
2	42,1	2,2	6,0	
3	41,0	2,2	6,3	
4	41,5	2,3	5,8	
Макарон пісірілгеннен кейін				
1	48,6	2,6	6,8	54,72
2	51,9	2,7	6,7	
3	48,2	2,6	6,7	
4	51	2,5	6,7	

Зерттеу нәтижелері №5 үлгіде қолданылған әртүрлі шикізат түрлерінің шамамен құрамы мен концентрациясы макарон өнімдерін өндіру үшін жарамсыз екенін көрсетті.

Кесте 5

№5 үлгі бойынша алынған әртүрлі шикізат түрлерінің шамамен құрамы мен концентрациясы

Рецептура: 70 г ұн, 30 г йогурт ұнтағы, 11 г жұмыртқа, 35 мл су (А4)				
№	Ұзындығы	Қалыңдығы	Ені	Салмағы, г
1	-	-	-	-

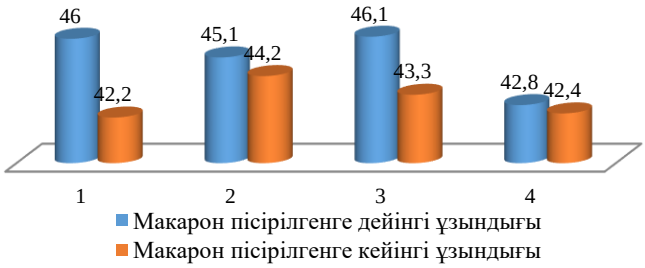
Құрамында 30% йогурт ұнтағы бар рецептура бойынша дайындалған макарон үлгісі пісіру барысында құрылымын сақтай алмады: массаның ыдырауы және беткі қабаттың желімденуі байқалды. Бұл өнімнің реологиялық тұрақтылығы мен пісіру қасиеттерінің нашарлағанын көрсетеді. Сондықтан мұндай құрамдағы макарон тұтынуға жарамсыз деп бағаланды.

Макарон өндірісінде реологиялық қасиеттері, яғни икемділігі мен беріктігі маңызды рөл атқарады. Макарон қамырдың құрамында болатын компоненттердің бір-бірімен өзара әрекеттесуі және олардың құрылымының қасиеттеріне өз әсерін береді.

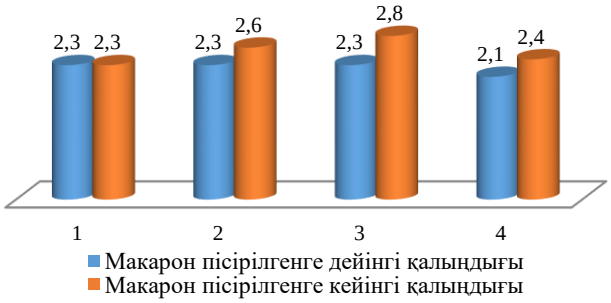
Зерттеу нәтижелерін талқылау. Әзірленген макарон өнімдері сапа көрсеткіштері бойынша талдаудан өтті. Үлгілердің сапасы AACC 2000 стандартына сәйкес ең аз пісіру уақытымен анықталды. Ұннан жасалған макарон өнімдеріне арналған шикізаттың желімдеу қасиеттерін анықтау үшін жылдам тұтқырлық анализаторы (RVA) пайдаланылды. Өнімнің құрылымы тұрақты микрожүйелік текстура анализаторы TA-XT көмегімен анықталды. Ол макарон үлгісін кесуге қажетті күшті жазу үшін кесу режимінде пайдаланылды. Әрбір макарон үлгісі тот баспайтын болаттан жасалған табада бөлек дайындалған, әрбір жағдайда салмағы 25 гр үлгі алынып, 500 мл суда қайнатылған. Макарон қайнаған суға қосылып, алдын ала белгіленген уақытқа қайнатылды. Макарон түсі, құрылымы, хош иісі, дәмі және жалпы қолайлылығы бойынша бағаланды. Әрқайсысының салмағы 8-9 гр макарон өнімдерінің үлгілері петри табақшаларына (үш данада) эксикатордың жоғарғы бөлігіне фарфор пластинадағы, ал күтілетін ДОМ үшін қолайлы тұздардың қаныққан ерітінділері эксикатордың түбіне салынады. Онда 30 гр макарон фарфор ерітіндісінде ұнтақталып, диаметрі 1мм електен толық өткенше зертханалық диірменде ұнтақталған. Ылғалдылықты анықтау үшін електен өткен массадан үлгілер алынады. Ұнтақталған макарондарды кептіру жеделдетілген әдіспен жүзеге асырылды.

Ұсынылған рецептура 80 г ұн, 20г йогурт ұнтағы, 11 г жұмыртқа, 35 мл су негізінде дайындалған макарон өнімін функционалды тағамдар қатарына жатқызуға болады. Ол әсіресе денсаулығына мән беретін, балалар мен егде жастағы тұтынушылар үшін тиімді тағамдық балама бола алады. Йогурт ұнтағы қосылған макарон өнімін дайындау барысында алынған нәтижелер әртүрлі көрсеткіштер бойынша талданды. Негізгі назар қамырдың физика-химиялық қасиеттеріне, дайын өнімнің органолептикалық сипаттамаларына және құрылымдық тұрақтылығына аударылды. Қамыр құрылымы мен иленуі: Йогурт ұнтағы қамыр құрылымына оң әсер етті. Ол глютеннің торлы құрылымын әлсіретпей, керісінше серпімділігін арттырып, қамырдың біртекті консистенциясын қамтамасыз етті. Қамыр илеу кезінде жақсы өңделді, жабысқақтығы төмен болды және беткі жағы біркелкі әрі тегіс болды. Бұл факторлар өндірістік жағдайда қамырмен жұмыс істеуді жеңілдетеді. Органолептикалық қасиеттері: Дайын өнімнің дәмі сәл ашқылтым, сүтті реңкпен ерекшеленді, бұл йогурт ұнтағының қосылуымен түсіндіріледі. Макарон өнімінің түсі ашық сарғыш реңкте болып,

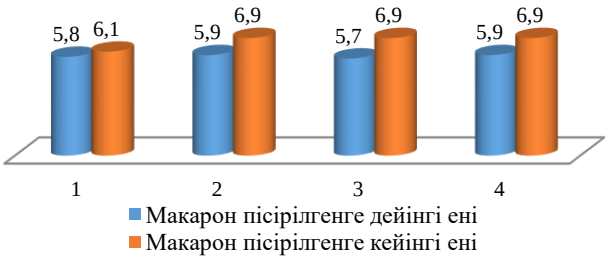
тұтынушылық тартымдылығын арттырды. Иісі жағымды, сүтқышқыл өнімдеріне тән жеңіл иіс сезілді. Бұл қасиеттер өнімді бәсекеге қабілетті етеді және тұтынушыларға жаңа, функционалды тағам түрін ұсынады. Қамырдың дұрыс дайындалғанының және компоненттердің үйлесімді араласқанының дәлелі. Сонымен қатар, макарон қайнаған суға салынғанда крахмалдың шамадан тыс бөлінуі тіркелмеді, бұл өнімнің сапасының жоғары екенін көрсетеді. Зерттеу нәтижелері бойынша, йогурт ұнтағы қосылған макарон өнімдері ГОСТ 14849-89 стандартының барлық талаптарына сай және тағамдық құндылығы жоғары өнім ретінде №4 үлгі ұсынылады. Макарон өнімдерінің жетілдірілген нұсқасы ретінде тандалынған №4 үлгінің макарон пісірілгенге дейінгі және кейінгі сапа көрсеткіштерінің ұзындығы 3-суретте, қалыңдығы 4-суретте, ені 5-суретте келтірілген.



Сурет 3. Тандалынған №4 үлгінің макарон пісірілгенге дейінгі және кейінгі ұзындығы



Сурет 4. Тандалынған №4 үлгінің макарон пісірілгенге дейінгі және кейінгі қалыңдығы



Сурет 5. Тандалынған №4 үлгінің макарон пісірілгенге дейінгі және кейінгі ені

Қорытынды. Макарон йогурт ұнтағының әртүрлі пропорцияларын қолдану арқылы дайындалды. Нәтижелер йогурт концентрациясын жоғарылату талшықтың құрамын арттырып, пісіру уақытын қысқартқанын, ал макарон өнімдерінің жұмсақтығы бақылау үлгісіне қарағанда жоғарылағанын көрсетті.

Йогурт ұнтағы қосылған макарон өнімін дайындау технологиясы бойынша жүргізілген зерттеу нәтижелері бұл бағыттың болашағы бар екендігін көрсетті. Зерттеу барысында дайын өнімнің құрылымдық, органолептикалық және технологиялық көрсеткіштері жоғары деңгейде екені анықталды.

Йогурт ұнтағы қамырдың серпімділігі мен біртектілігін жақсартып, макарон өнімінің дәмдік және тағамдық құндылығын арттырды. Қайнату кезінде өнім өзінің пішінін сақтап, құрылымдық ыдырауға ұшырамады. Сонымен қатар, йогурт ұнтағы өнімге сүтқышқылды дәм мен жағымды иіс беріп, тұтынушылық тартымдылығын арттырды.

Болашақта бұл өнімнің сақтау мерзімін, микробиологиялық қауіпсіздігін және тағамдық құндылығын тереңірек зерттеу ұсынылады. Сондай-ақ, өндірістік масштабта енгізу мүмкіндіктерін зерттеу маңызды болып табылады.

Әдебиеттер тізімі

1. Искакова, Ғ.К. Макарон өндірісінің технологиясы: шикізаттар және материалдар [Мәтін]: оқу құралы / Ғ.К. Искакова, Б.Ж. Мулдабекова. – Алматы, 2014. – 123 б.
2. Дәулеткереева, Ж.А. Макарон өнімдерін функционалды қоспалармен байыту жолдары [Мәтін] / Ж.А. Дәулеткереева, А.Е. Қуанышбаева //Тараз инновациялық-гуманитарлық университеті хабаршысы. – 2023. – № 2(58). – 44-48 б.
3. Gómez M., et al. Effect of protein enrichment on the textural and sensory properties of pasta //Food Chemistry. – 2013. – Vol. 136. – No. 2. – P. 543-550.
4. Karam M.C., Gaiani C., Hosri C., Burgain J., Scher J. Effect of dairy powders fortification on yogurt textural and sensorial properties: a review //Journal of Dairy Research. – 2013. – Vol. 80. – No. 4. – P. 400-409.
5. Komeroski M., Ruffo de Oliveira V. Influence of the amount and type of whey protein on the chemical, technological, and sensory quality of pasta and bakery products //Foods. – 2023.
6. Ombra M.N., Nazzaro F., Fratianni F. Pasta fortification with leaves of edible wild plants to lower the glycaemic index of handmade fresh noodles // Recent Progress in Nutrition. – 2023. – Vol. 3. – No. 2. – P. 1-21.
7. Osipova G.A., Koryachkina S.Y., Koryachkin V.P., Seregina T.V., Zhugina A. Effects of protein-containing additives on pasta quality and biological value //Foods and Raw Materials. – 2019. – Vol. 7. – No. 1. – P. 60-66.

Материал редакцияға 20.08.25 түсті, 25.02.26 қабылданды.

А.А. Токтабек[1], Л.А. Мамаева[1], Hülya Gül[2], А.Е. Отуншиева[3]

[1]Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан
[2]Университет им. Сулеймана Демиреля, Испарта, Турция
[3]Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ РЕЦЕПТУРЫ МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ, ОБОГАЩЕННЫХ ЙОГУРТОВЫМ ПОРОШКОМ И ИЗУЧЕНИЕ ИХ СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ

Аннотация. В настоящее время растущий спрос на продукты питания влияет на появление инноваций в обогащении макаронных изделий, направленных на улучшение их пищевой ценности при сохранении соответствия нормам. Исследование проводилось с целью оценки качества макаронных изделий с добавлением йогуртового порошка. Крупу из твердых сортов пшеницы заменяли йогуртовым порошком в различных пропорциях (0%, 10%, 15%, 20% и 30%). В качестве контроля служили макаронные изделия, изготовленные из муки из твердых сортов пшеницы. Исследования показали, что благодаря взаимодействию крахмала и белка и содержанию пищевых волокон обогащение йогуртовым порошком значительно увеличивает содержание белка (до 28,3% при 30% замене) и снижает прогнозируемый гликемический индекс (pGI) на 12-18% по сравнению с контрольной группой. Анализ текстуры показал, что замена ≤ 20% сохраняет приемлемую твердость и эффективность приготовления, в то время как замена 30% йогуртового порошка приводит к ослаблению текстуры. Сенсорная оценка показала, что содержание йогуртового порошка 15-20% обеспечивает оптимальную усвояемость, улучшенную кремообразную консистенцию и мягкий вкус. Полученные результаты демонстрируют потенциал йогуртового порошка как многофункционального ингредиента для разработки обогащенных питательными веществами макаронных изделий с низким гликемическим индексом, соответствующих мировым тенденциям в области устойчивых и ориентированных на здоровье пищевых инноваций.

Ключевые слова: макаронные изделия, йогуртовый порошок, пшеничная мука, реологические свойства, пищевая ценность, функциональный продукт, микробиологическая безопасность, рецептура, добавки.

A.A. Toktabek[1], L.A. Mamayeva[1], Hülya Gül[2], A.E. Otunshiyeva[3]

[1]Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan
[2]Süleyman Demirel University, Isparta, Turkey
[3]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

IMPROVEMENT OF THE OPTIMAL RECIPE OF PASTA PRODUCTS ENRICHED WITH YOGURT POWDER AND STUDY OF THEIR STRUCTURAL PROPERTIES

Abstract. Currently, the growing demand for food products affects the emergence of innovations in the enrichment of pasta products, aimed at improving their nutritional value while maintaining compliance with standards. The research was conducted in order to evaluate the quality of pasta products with the addition of yogurt powder. Durum wheat groats were replaced with yogurt powder in different proportions (0%, 10%, 15%, 20% and 30%). Pasta made from durum wheat flour serves as a control. Studies have shown that due to the interaction of starch and protein and the content of dietary fibers, enrichment with yogurt powder significantly increases the protein content (up to 28.3% at 30% replacement) and reduces the predicted glycemic index (pGI) by 12-18% compared to

the control group. Texture analysis showed that substitution ≤ 20% maintains acceptable hardness and cooking efficiency, while substitution of 30% yogurt powder leads to a weakening of the texture. Sensory evaluation has shown that the content of yogurt powder 15-20% provides optimal digestibility, improved creamy consistency and mild taste. The obtained results demonstrate the potential of yogurt powder as a multifunctional ingredient for the development of nutrient-enriched pasta products with a low glycemic index that correspond to global trends in the field of sustainable and health-oriented food innovations.

Keywords: pasta, yogurt powder, wheat flour, rheological properties, nutritional value, functional product, microbiological safety, formulation, additives.

References

1. Iskakova G.K., Muldabekova B.Zh. Makaron ondirisinin tekhnologiyasy: shikizattar zhane materialdar [Technology of pasta production: raw materials and materials]: textbook. – Almaty, 2014. – 123 p. [in Kazakh].
2. Dauletkereeva Zh.A., Kuanyshbaeva A.E. Makaron onimderin funktsionaldy qospalarmen bayytu zholdary [Ways of enriching pasta products with functional additives] //Bulletin of Taraz Innovation and Humanities University. – 2023. – No. 2(58). – P. 44-48. [in Kazakh].
3. Gómez M., et al. Effect of protein enrichment on the textural and sensory properties of pasta //Food Chemistry. – 2013. – Vol. 136. – No. 2. – P. 543-550.
4. Karam M.C., Gaiani C., Hosri C., Burgain J., Scher J. Effect of dairy powders fortification on yogurt textural and sensorial properties: a review //Journal of Dairy Research. – 2013. – Vol. 80. – No. 4. – P. 400-409.
5. Komeroski M., Ruffo de Oliveira V. Influence of the amount and type of whey protein on the chemical, technological, and sensory quality of pasta and bakery products //Foods. – 2023.
6. Ombra M.N., Nazzaro F., Fratianni F. Pasta fortification with leaves of edible wild plants to lower the glycaemic index of handmade fresh noodles // Recent Progress in Nutrition. – 2023. – Vol. 3. – No. 2. – P. 1-21.
7. Osipova G.A., Koryachkina S.Y., Koryachkin V.P., Seregina T.V., Zhugina A. Effects of protein-containing additives on pasta quality and biological value //Foods and Raw Materials. – 2019. – Vol. 7. – No. 1. – P. 60-66.

IRSTI 65.29.03

F. Makhmudov[1] – *main author*,
S. Azimova[2], D. Tlevlessova[3],
Zh. Yembergenova[4], A. Gabbasova[5]

©

[1,2,3]PhD, Associate Professor, [4,5]M.Sc., lecturer

ORCID
[1]https://orcid.org/0000-0002-7791-1588 [2]https://orcid.org/0000-0002-8992-8889
[3]https://orcid.org/0000-0002-5084-6587 [4]https://orcid.org/0000-0002-6298-950X
[5]https://orcid.org/0000-0002-6726-0128

[1]International Engeeniring Technological University, Almaty, Kazakhstan
[2,3]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan
[4]K. Zhubanov Aktobe regional university, Aktobe, Kazakhstan
[5]West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan, Uralsk, Kazakhstan

@ *[1]farruh-ma@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/TOTX5114

COMPARATIVE EVALUATION OF SOFT WHEAT VARIETIES FOR THEIR APPLICATION IN HEALTHY NUTRITION PRODUCTS

Abstract. The chemical structure of grain of four varieties of soft wheat of Kazakhstan selection is considered: Shortandinskaya, Novosibirskaya-31, Trizo and Tobolskaya. The content of proteins, carbohydrates, fats, ash, as well as macroelements: potassium, phosphorus and magnesium is determined. It is established that the Novosibirskaya-31 variety is characterized by the highest content of protein and minerals. It is revealed that the Trizo variety is characterized by minimal ash content, which increases its technological value for the flour-milling industry. Statistical processing of the results is carried out by the method of variance analysis, as well as the principal component analysis (PCA). The main parameters influencing the nutritional value of the varieties are determined. Recommendations for the use of the studied varieties in the production of healthy and dietary food products are formulated.

Keywords: soft wheat, grain varieties, chemical composition, nutritional value, potassium, phosphorus, protein, ash content, PCA analysis, healthy nutrition.

Makhmudov F., Azimova S., Tlevlessova D., Yembergenova Zh., Gabbasova A. Comparative evaluation of soft wheat varieties for their application in healthy nutrition products //Mechanics and Technology / Scientific journal. – 2026. – No.1(91). – P.71-76. https://doi.org/10.55956/TOTX5114

Introduction. Common wheat (*Triticum aestivum L.*) traditionally occupies a leading place in the production of grain crops and serves as the main raw material for the manufacture of bakery and flour products. In recent years, scientific and consumer interest in wheat varieties with high nutritional and biological value has increased, especially in the context of creating healthy and functional food products [1,2].

It has been proven at the international level that whole-grain soft wheat flour with a high content of protein, fiber and macronutrients can reduce the level of

inflammatory markers, have a positive effect on the intestinal microbiota, and also help normalize body weight and prevent metabolic disorders [3-5]. At the same time, the nutritional value of wheat is determined not only by its botanical species, but also by varietal characteristics, agroclimatic growing conditions and the processing technologies used [6,7].

In the conditions of Kazakhstan, soft wheat forms the basis of agricultural exports and domestic consumption. However, to date there has been no comprehensive comparative assessment of locally bred varieties by key indicators of chemical composition (proteins, carbohydrates, fats, ash) and the content of vital macronutrients (potassium, phosphorus, magnesium). Such an assessment is especially important in terms of their suitability for the production of dietary, baby and preventive nutrition products.

Thus, the purpose of this study was to identify the most promising varieties of soft wheat of Kazakhstani selection by a set of nutritional and technological indicators. The work is aimed at forming scientifically sound recommendations for the use of individual varieties as raw materials for healthy nutrition, taking into account modern requirements of nutrition and food technology.

Materials and methods. The study was conducted in laboratory conditions of the Department of Agrochemistry and Soil Science of the Research Institute of Food Safety of the ATU, using standard methods for assessing the chemical composition of grain. The objects of the study were four varieties of soft wheat of Kazakh selection: Shortandinskaya, Novosibirskaya-31, Trizo and Tobolskaya, grown in the same agroclimatic conditions on experimental plots of the North Kazakhstan region in 2023.

Methods of analysis. Determination of the mass fraction of protein – by the Kjeldahl method (GOST 10846-91). Fat content – by Soxhlet extraction (GOST 10857-64). Ash content – by the calcination method; Mass fraction of carbohydrates - by the calculation method: 100% – (% protein + % fat + % ash + % moisture). The content of potassium, magnesium and phosphorus – by the photometric method with preliminary mineralization of the sample (GOST 26657-97, GOST 30538-97).

Statistical processing. All measurements were carried out in triplicate. The results were processed using the Statistica 12.0 package. To assess the reliability of differences, variance analysis (ANOVA) was used, as well as the Newman-Keuls test for paired comparisons between varieties. Principal component analysis (PCA) was used to visualize the relationships between variables and identify varieties with the most balanced composition.

Research results. The conducted assessment of the chemical composition of grain of four varieties of soft wheat revealed significant differences in the main indicators of nutritional value. Table 1 shows the average values of the content of proteins, carbohydrates, fats, ash, as well as potassium, phosphorus and magnesium.

Table 1

Chemical composition of soft wheat grain of different varieties, % and mg/100 g

Indicator	Shortandinskaya	Novosibirskaya-31	Trizo	Tobolskaya
1	2	3	4	5
Proteins, %	13.98	16.90	14.78	15.12
Carbohydrates, %	58.39	55.87	56.42	57.20
Fats, %	2.39	2.15	1.79	2.03
Ash, %	1.88	1.72	1.65	1.73

Table 1 (continued)

1	2	3	4	5
Potassium, mg/100 g	322.70	334.40	328.10	330.05
Phosphorus, mg/100 g	363.28	368.70	365.10	364.90
Magnesium, mg/100 g	109.30	114.03	110.56	112.87

The analysis showed that Novosibirskaya-31 has the highest content of protein (16.9%) and macronutrients (potassium, phosphorus, magnesium), which indicates its high biological value and the feasibility of using it in the production of dietary and preventive nutrition products.

The Trizo variety had the lowest ash content (1.65%), which can be a positive indicator for milling, since ash content directly affects the yield and quality of premium flour.

According to the results of the analysis of variance (ANOVA), the differences in most indicators were statistically significant ($p < 0.05$), which was confirmed by the Newman-Keuls test (Table 2).

Table 2

Newman-Keuls test results

Indicator	The statistically superior variety
Proteins, %	Novosibirskaya-31
Carbohydrates, %	Shortandinskaya
Fats, %	Shortandinskaya
Ash, %	Trizo
Potassium, mg/100 g	Novosibirskaya-31
Phosphorus, mg/100 g	Novosibirskaya-31
Magnesium, mg/100 g	Novosibirskaya-31

Principal Component Analysis (PCA). The principal component analysis revealed clustering of varieties by complex chemical composition. In the PCA diagram, Novosibirskaya-31 and Tobolskaya varieties form one group characterized by high protein and mineral content, while Triso and Shortandinskaya are shifted to the axes associated with carbohydrates and ash content, respectively. The diagram in Figure 1 visualizes the distribution of varieties according to the factors that most strongly influence nutritional value.

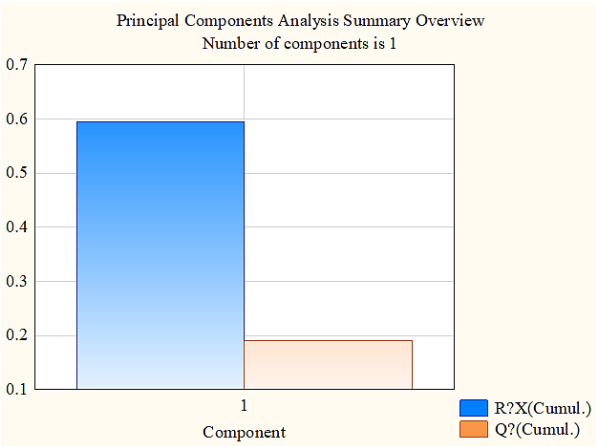


Fig. 1. PCA diagram: spatial distribution of soft wheat varieties by nutritional value components

The diagram shows the cumulative share of explained variance of the first principal component (R^2X(Cumul.)) – approximately 60%, which indicates that one component explains the main variation in the data; the Q^2 value (the predictive ability of the model) is moderate, but acceptable for interpretation.

Discussion. The results of the analysis showed significant variability in the chemical composition of grain between soft wheat varieties grown under the same conditions. The Novosibirskaya-31 variety has the highest content of protein (16.9%) and macronutrients (potassium, phosphorus, magnesium), which meets the criteria of increased nutritional value. Similar characteristics were previously identified as the most significant in the selection of grain for the production of baby and dietary foods [8].

The Trizo variety, despite its moderate protein content, has the lowest ash content (1.65%), which indicates a high level of grain purification, which is especially important in the production of premium flour. According to the work of Litvinenko et al. [9], ash content can be considered as an indicator of the suitability of grain for deep processing, affecting the quality of the finished product.

The results of the analysis of variance (ANOVA) and the Newman-Keuls test confirmed statistically significant differences between varieties for most indicators. The data obtained are in agreement with the findings of Stupakova et al. [10], who emphasize the importance of a representative sample and the reliability of chemical-analytical data in the varietal differentiation of grain crops.

The principal component analysis (PCA), visualized in Figure 1, showed that one principal component accumulates more than 60% of the total variance. This indicates the high information content of the main indicators (protein, ash, macronutrients) for a comprehensive varietal assessment. A similar statistical approach was previously used in assessing the functional properties of grain raw materials [2,8]. Thus, the studied varieties demonstrate various nutritional and technological advantages, allowing them to be recommended for differentiated use depending on production tasks – from obtaining high-grade flour to developing preventive nutrition products.

Conclusion. Based on a comprehensive analysis of the chemical composition of four varieties of soft wheat (Shortandinskaya, Novosibirskaya-31, Trizo, Tobolskaya), it was found that:

– The Novosibirskaya-31 variety has the highest nutritional value due to its increased protein content (16.9%) and macronutrients (potassium, phosphorus, magnesium), which makes it preferable for use in the production of healthy food products;

– The Trizo variety is characterized by the lowest ash content, which can be useful when grinding grain and obtaining premium flour;

– The principal component analysis (PCA) confirmed the possibility of grouping varieties by chemical and nutritional characteristics, explaining up to 60% of the total variability;

– The results obtained are consistent with literary sources and expand our understanding of the breeding and technological value of soft wheat varieties grown in Northern Kazakhstan.

The results can be used to develop varietal recommendations for the selection of grain raw materials for dietary, baby and functional nutrition.

References

1. Kiseleva T.L., Kiseleva M.A., Kochetkova A.A. Pshenica: vozmozhnosti i potencial'nye riski ispol'zovanija pri saharnom diabete s pozicii tradicionnoj

mediciny i sovremennoj dietologii [Wheat: the potential and risks of its use in diabetes from the perspective of traditional medicine and modern dietetics] // Traditional medicine. – 2018. – No. 2(53). – P. 4-16. [in Russian].
2. Polonskij V.I., Sumina A.V. Povyshenie soderzhanija betainov v zerne kak perspektivnoe napravlenie selekcii dlja poluchenija funkcional'nyh produktov pitanija (obzor) [Increasing the betaine content in grain as a promising direction of breeding for obtaining functional foods (review)] // Bulletin of KrasGAU. – 2020. – No. 2(155). [in Russian].
3. Kinney G.A., et al. Impacts of Whole-Grain Soft Red, Whole-Grain Soft White, and Refined Soft White Wheat Flour Crackers on Gastrointestinal Inflammation and the Gut Microbiota of Adult Humans // Biology. – 2024. – Vol. 13. – No. 9. – P. 677. https://doi.org/10.3390/biology13090677.
4. Capurso C. Whole-grain intake in the Mediterranean diet and a low protein to carbohydrates ratio can help to reduce mortality from cardiovascular disease, slow down the progression of aging, and to improve lifespan: a review // Nutrients. – 2021. – Vol. 13. – No 8. – P. 2540. https://doi.org/10.3390/nu13082540.
5. Zhang T., Kim H., Kweon M. Impact of kernel hardness and amylose content on quality characteristics of purple-colored whole wheat flour // Cereal Chemistry. – 2024. – Vol. 101. – No. 5. – P. 1084-1093. https://doi.org/10.1002/cche.10809.
6. Iqbal M.J., Shams N., Fatima K. Nutritional quality of wheat // Wheat-recent advances. – IntechOpen, 2022. – https://doi.org/10.5772/intechopen.104659.
7. Smirnova E.Yu. Celebnye zlaki [Healing grains]. – Moscow: Ripol Klassik, 2014. – 192 p.
8. Urubkov S.A., et al. Analiz himicheskogo sostava i pishhevoj cennosti zernovogo syr'ja dlja proizvodstva produktov detskogo pitanija [Analysis of the chemical composition and nutritional value of grain raw materials for the production of baby food products] // Food industry. – 2018. – No. 8. – P. 16-21. [in Russian].
9. Litvinenko O.V., et al. Rezul'taty sravnitel'nogo izuchenija sortov soi po pokazateljam biohimicheskogo sostava zerna [Results of a comparative study of soybean varieties based on biochemical composition of grain] // Agronauka. – 2023. – Vol. 1. – No. 4. – P. 62-70. [in Russian].
10. Stupakova G.A., Den'gina S.A., Ivanova V.M. Podtverzhdenie dostovernosti rezul'tatov ocenki himicheskogo sostava zernovyh kul'tur [Confirmation of the reliability of the results of the assessment of the chemical composition of grain crops] // Agriculture. – 2019. – No. 5. – P. 27-30. [in Russian].

Received: 04 September 2025
Accepted: 20 January 2026

Ф. Махмудов[1], С. Азимова[2], Д. Тлевлесова[2], Ж. Ембергенова[3], А. Габбасова[4]

[1]Халықаралық инженерлік технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан
[2]Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан
[3]Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе облыстық университеті, Ақтөбе, Қазақстан
[4]Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан

ДЕНСАУЛЫҚҚА ПАЙДАЛЫ ТАМАҚ ӨНІМДЕРІН ӨНДІРУДЕ ҚОЛДАНУҒА АРНАЛҒАН ЖҰМСАҚ БИДАЙ СҰРЫПТАРЫНЫҢ ХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫНЫҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУЫ

Аңдатпа. Қазақстан селекциясы бойынша төрт жұмсақ бидай сұрыптарының дәндерінің химиялық құрылысы қарастырылды: Шортандинская, Новосибирская-31, Тризо және Тобольская. Ақуыз, көмірсу, май, күл құрамымен қатар, макроэлементтер: калий, фосфор және магний анықталды. Новосибирская-31

сұрыпы ең жоғары ақуыз және минералдық заттар құрамымен ерекшеленетіні анықталды. Тризо сұрыпының күл мөлшері ең төмен болып, бұл оны ұн өндірісінде технологиялық мәнін арттырады. Нәтижелерді статистикалық өңдеу дисперсиялық талдау әдісі және негізгі компоненттерді талдау (PCA) арқылы жүргізілді. Сұрыптардың тағамдық құндылығына әсер ететін негізгі параметрлер анықталды. Зерттелген сұрыптарды денсаулыққа пайдалы және диеталық тамақ өнімдерін өндіруде қолдану бойынша ұсыныстар берілді.

Тірек сөздер: жұмсақ бидай, дән сұрыптары, химиялық құрамы, тағамдық құндылығы, калий, фосфор, ақуыз, күл құрамы, PCA талдау, денсаулыққа пайдалы тамақ.

Ф. Махмудов[1], С. Азимова[2], Д. Тлевлесова[2], Ж. Ембергенова[3], А. Габбасова[4]

[1]Международный инженерно-технологический университет, Алматы, Казахстан
[2]Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан
[3]Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Актобе, Казахстан
[4]Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, Уральск, Казахстан

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СОРТОВ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОДУКТОВ ЗДОРОВОГО ПИТАНИЯ

Аннотация. Рассмотрено химическое строение зерна четырёх сортов мягкой пшеницы казахстанской селекции: Шортандинская, Новосибирская-31, Тризо и Тобольская. Определено содержание белков, углеводов, жиров, золы, а также макроэлементов: калия, фосфора и магния. Установлено, что сорт Новосибирская-31 характеризуется наибольшим содержанием белка и минеральных веществ. Выявлено, что сорт Тризо отличается минимальной зольностью, что повышает его технологическую ценность для мукомольной промышленности. Проведена статистическая обработка результатов методом дисперсионного анализа, а также методом главных компонент (PCA). Определены основные параметры, оказывающие влияние на пищевую ценность сортов. Сформулированы рекомендации по применению изученных сортов в производстве продуктов здорового и диетического питания.

Ключевые слова: мягкая пшеница, сорта зерна, химический состав, пищевая ценность, калий, фосфор, белок, зольность, PCA-анализ, здоровое питание.

ҒТАМР 65.33.29

К.Ш. Саржанова[1] – *негізгі автор*,
П.М. Маликтаева[2], Т.Н. Сайлаубек[3]

[1]Канд. техн. наук, [2]Канд. техн. наук, ассоц. профессор (доцент), [3]Магистр

ORCID *[1]https://orcid.org/0009-0005-9898-8794 [2]https://orcid.org/0000-0002-1251-811X [3]https://orcid.org/0009-0004-6210-606X*

[1,2,3]Шерхан Мұртаза атындағы Халықаралық Тараз университеті,
Тараз, Казақстан

@ *[1]Sarzhanova50@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/IUOB6799

ҚАЗАҚ ТАПА-НАНЫНЫҢ САПАСЫНА МАЙЛЫ ӨНІМДЕРДІҢ ТИГІЗЕТІН ӘСЕРІ

Аңдатпа. Мақалада қазақ халқының дәстүрлі тағамдарының бірі болып табылатын тапа-нан рецептерінде нанды қатырмай, ұзақ уақыт балғын күйде сақтау үшін май компоненттерін қолдану мүмкіндігі зерттелді. Нәтижесінде, балғындығы ұзақ сақталатын тапа-нан пісірудің оңтайлы рецепті мен пісіру әдісі анықталды. Қой майы мен мақта майының сапалық көрсеткіштері анықталды, нәтижесінде тапа-нан жұмсағының ісінуі мен ылғалдылығының өзгеруіне майлы өнімдерді қосу әдістерінің әсеріне қарай оңтайлы уақыт анықталды. Зерттеу нәтижелері 6 үлгі бойынша салыстырмалы талдаулар жасалынды. Піскен тапа-нан қаптамасыз 25-30°С температурада және 60-65% салыстырмалы ылғалдылықта сақталды, ең тиімді II үлгісі болып табылды. Осылайша, стационарлық катализатордың көмегімен алынған беттік белсенді заттар мен гидрогенделген мақта майын қолдану орынды болып табылады.

Тірек сөздер: тапа-нан, ашытқы, май өнімдері, нанның балғындығы, қаттылығы, нан жұмсағы.

Саржанова, К.Ш. Қазақ тапа-нанының сапасына майлы өнімдердің тигізетін әсері [Мәтін] / К.Ш. Саржанова, П.М. Маликтаева, Т.Н. Сайлаубек // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.77-82. https://doi.org/10.55956/IUOB6799

Кіріспе. Нан адам рационында негізгі тағам болып табылады, өйткені оның тағамдық құндылығы жоғары және ағзаны күрделі көмірсулармен (крахмал, тағамдық талшықтар), ақуыздармен, дәрумендермен (В1, В2, В6, РР, Е, фолий қышқылы), магниймен, темірмен қамтамасыз етеді.

Нан өндірісі тарихи және ұлттық ерекшеліктерге байланысты қалыптасқан әртүрлі технологияларды қамтиды. Қамырды дайындаудың заманауи әдістеріне дәстүрлі (ашытқы) ашыту, сонымен бірге, әртүрлі тағамдық қоспаларды (қопсытқыш ұнтақтар, ферменттік препараттар және т.б.) пайдалану процестері кіреді [1].

Қазіргі кезде маргарин өнімдерінің негізгі бөлігін құрайтын сутектелген майлар нан өнімдерінің кең ассортиментін дайындау үшін пайдаланылады. Майлы өнімдерді қолданумен қатар ерекше қасиеттерді

беретін және дайын өнімнің сапа көрсеткіштерін жақсартатын беттік-белсенді заттарды (ББЗ) қолдану да кеңінен таралған [2].

Шалғай жерлерде тұратын, мал шаруашылығымен айналысатын қазақ халқының дәстүрлі тағамдарының бірі болып табылатын тапа-нан рецептерінде нанды қатырмай, ұзақ уақыт балғын күйде сақтау үшін май компоненттерін қолданудың мәні зор.

Зерттеудің мақсаты: Тапа-нанға қой және мақта майын қосу арқылы тиімді рецептура алу.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Қолданылған майлы өнімдердің сапасы мен құрамы 1,2-кестелерде көрсетілген.

Тапа-нанға арналған қамыр орташа пісіру қасиеті бар бірінші сортты бидай ұнынан алдын-ала ашытылған ашытқыны қосу әдісімен дайындалды.

Ұн, ашытқы және су араласқан ашытқы 3,0-3,5 сағат ашыды. Ашыған қамырға қалған ұн, су, тұз, май өнімдері (қой майын, мақта майын) қосылды. Май өнімдері ерітілген, су-май эмульсиясы және қайнатылған май түрінде қосылды.

Кесте 1

Майлы өнімдердің сапа көрсеткіштері

Майлы өнім	Йод мөлшері, 100 г-ы йод, мг	Еру температурасы, °С	Қаттылығы, г/см	ВНИИЖ приборы бойынша түсі	Қышқыл саны, мг-мен КОН/г
Қой майы	62,8	42,8	180	2	0,45
Мақта майы	108,3	-	-	8 қызылда 35 сары	0,23
Стационарлық катализатордағы сутектелген мақта майы	68,9	33,1	320	2	0,31
ББЗ	ацетилденген глицерин түрінде				

Кесте 2

Майлы өнімдердің май қышқылдарының құрамы, %

Майлы өнім	$C_{14:0}$	$C_{16:0}$	$C_{18:0}$	$C_{18:1}$	$C_{18:2}$	трансизомерлер
Қой майы	2,1	26,0	27,9	40,0	4,0	-
Мақта майы	0	24,9	2,1	19,9	53,1	-
Стационарлық катализатордағы сутектелген мақта майы	0,6	21,7	8,0	51,4	18,3	62,4
Беттік белсенді заттар	ацетилденген глицерин түрінде					

Қамыр 1 сағат ашытуға қалдырылды, содан кейін пісіру барысында салмағының азаюын ескере отырып, 240 және 460 г бөліктерге бөлініп, көтерілуге қалдырылды: 240 г үшін – 20 минут; 460 г үшін – 30-40 минут.

Көтерілуінен кейін қамыр бөліктері қалыптастырылып, зертханалық пеште пісірілді.

«Тапа-нан» рецепті мен пісіру әдісі 3-кестеде көрсетілген.

Қамырдың келесі нұсқалары дайындалды: бақылау үлгісі К – қамырға қой майы ерітілген күйде қосылды; тәжірибелік үлгілер: I – тазартылған мақта майы өзінің табиғи күйінде қосылды; II – мақта майы су-май эмульсиясы түрінде беттік белсенді затпен бірге қосылды; III – мақта майы

ерітілген күйде қосылды; IV – мақта майы беттік белсенді затпен бірге су-май эмульсиясы түрінде қосылды; V – мақта майы қайнатылған күйде қосылды.

Қамырға қоспас бұрын май 40°С температурада ерітіліп, оған 5% ұн қосылып, мұқият араластырылды да, 60°С дейін қыздырылды, содан кейін 35°С дейін салқындатып қамырға қосылды.

Қамыр мен тапа-нанның сапасы белгілі әдістер бойынша анықталды [3].

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Пісірілген дайын өнімдер 12 сағаттан кейін келесі критерийлер бойынша бағаланды: тапа-нанның пішіні, бетінің күйі, жұмсағының түсі мен күйі, кеуектілігінің құрылымы мен сипаты, серпімділігі мен піскендігі, тапа-нанның дәмі мен иісі; және физика-химиялық көрсеткіштері: ылғалдылығы, қышқылдылығы, меншікті көлемі, кішіреюі және шөгуі.

Тапа - нанның меншікті көлемі, мл/100 г, кең қолданылатын қой майымен салыстырғанда артады (бақылау нұсқасы) I – 3,8-ге; II – 19,6-ға; III – 9,5-ке; IV – 11,2-ге; V – 0,8-ге.

Кесте 3

«Тапа-нан» рецепті мен пісіру әдісі

Рецепті мен пісіру әдісі	Дайын далған ашытқы	Қосылатын заттар	Қамырды дайындау нұсқалары					
			К	I	II	III	IV	V
I-ші сортты бидай ұны, г	350	50	650	650	650	650	650	600
Престелген ашытқы,г	15	-	-	-	-	-	-	-
Су, мл	177	150	339	385	385	364	36415	389
Тұз, г	-	-	15	15	15	15	5	15
Май, г	-	80	80	80	80	80	80	80
ББЗ, г	-	-	-	-	2	-	2	-
Дайындалған ашытқы	-	-	барлығы	барлығы	барлығы	барлығы	барлығы	барлығы
Судың температурасы, °С	35	50	35	35	35	35	35	35
бастапқы	28	60	29,5	29,5	29,3	29,5	29,3	29,3
ақырғы	28	35	31	31,0	31,2	31	31,2	30,8
Соңғы қышқылдық, °Н	6	-	3	3	3	3	3	3
Ылғалдық, %	42,5	-	41,6	41,6	41,6	41,6	41,6	41,6
Ұзақтығы, мин		--						
ашыту	180	-	60	60	60	60	60	60
біраз жатқызу	-	-	25-40	25-40	25-40	25-40	25-40	25-40
пісіру	-	--	15	15	15	15	15	15
Пеш Т·°С	-	-	250	250	250	250	250	250

Тапа-нан жұмсағының ісінуінің өзгеруі және тоқталуымен анықталатын майлы өнімдерді қосу әдістерінің қату процесіне әсері және тапа-нан жұмсағының ылғалдылығының өзгеруі 4-кестеде көрсетілген.

Піскен тапа-нан қаптамасыз 25-30°С температурада және 60-65% салыстырмалы ылғалдылықта сақталды. Деректер II нұсқада пісірілген тапа-нан ең ұзақ уақыт бойы балғындығын сақтағанын көрсетті; бұл тапа-нанның жұмсағы 36 сағат сақтаудан кейін ісінбеді. IV-V нұсқада пісірілген тапа-нандар сәл қысқа уақытқа балғын күйінде қалады; олардың жұмсағы 33 сағат сақтаудан кейін ісінбейді. Бұл үлгілердің де ылғалдылығы сол сақтау мерзімінен кейін өзгермеді.

Осылайша, стационарлық катализатордың көмегімен алынған беттік белсенді заттар мен гидрогенделген мақта майын қолдану орынды болып табылады.

Аталған қоспалар дайын өнімнің сыртқы түрін, жұмсағының құрылымын, дәмі мен хош иісін жақсартып қана қоймай, сонымен қатар өнімнің балғындығын ұзақ уақыт сақтауға мүмкіндік береді.

Кесте 4

Тапа-нан жұмсағының ісінуі мен ылғалдылығының өзгеруіне майлы өнімдерді қосу әдістерінің әсері

Анықтау уақыты (пісіргеннен) кейін, сағ	К	I	II	III	IV	V	К	I	II	III	IV	V
	Сақтау кезіндегі тапа-нан жұмсағының ылғалдылығы, %						Сақтау кезіндегі тапа-нан жұмсағының ісінуі, %					
6	39,0	39,0	39,0	38,9	39,2	39,0	6,2	7,0	6,9	7,3	6,5	7,4
12	38,2	37,4	38,2	37,1	38,4	38,2	5,7	6,9	5,7	6,5	6,0	6,5
15	36,3	35,5	37,0	35,7	36,2	36,9	5,2	6,2	5,1	5,8	5,9	5,7
18	34,8	33,6	35,8	33,8	34,7	35,3	4,4	5,0	4,9	5,3	4,9	4,8
21	31,4	29,9	34,2	32,0	33,0	33,4	3,4	4,7	4,4	4,5	4,2	4,4
24	27,9	27,5	32,6	28,7	31,5	31,6	2,2	3,8	3,5	3,2	3,4	3,2
27	24,5	25,6	30,7	26,2	29,4	28,7	1,6	2,4	2,7	2,7	2,9	2,0
30	21,2	22,1	28,9	24,3	28,1	26,5	1,1	1,5	2,1	1,3	2,7	17
33	19,5	19,6	25,5	20,3	25,2	23,1	0	0	1,8	0	2,0	1,0
36	19,5	19,6	22,2	20,3	22,0	19,8	-	-	1,3	-	0,0	0
39	19,5	19,6	19,6	20,3	20,2	19,8	-	-	0	-	-	-
42	19,5	19,6	19,6	20,3	20,2	19,8	-	-	-	-	-	-
45	19,5	19,6	19,6	20,3	20,2	19,8	-	-	-	-	-	-

Қорытынды. Жоғарыда жүргізілген зерттеулер бойынша 6 қамыр үлгісі алынды. «Тапа-нан» рецепті мен пісіру әдісі анықталып, соңынан дайын өнімдердің (үлгілердің) ортасының жұмсағының ісінуі мен ылғалдылығының өзгеруіне майлы өнімдерді қосу әдістерінің әсері талданды. Нәтижесінде II нұсқада пісірілген тапа-нан ең ұзақ уақыт бойы балғындығын сақтағанын көрсетті; бұл тапа-нанның жұмсағы 36 сағат сақтаудан кейін ісінбеді.

Қазақтың ұлттық нан өнімдерінің рецептурасына стационарлық катализатор көмегімен өндірілетін сутектелген мақта майын және май эмульсиясы түріндегі беттік белсенді заттарды қосу тапа-нанның сапасын жақсартып, сақтау мерзімін ұзартады. Бұл технология әсіресе шалғай жерлерде тұратын, мал шаруашылығымен айналысатын тұрғындар үшін өте тиімді болып табылады.

Әдебиеттер тізімі

1. Байысбаева, М.П. Нан өнімдері сапасын бағалау әдістері [Мәтін]: оқу құралы / М.П. Байысбаева. – Алматы, 2020. – 171 б.
2. Богатырева, Т.Г. Использование целевых пшеничных заквасок в производстве хлебобулочных изделий [Текст] / Т.Г. Богатырева, Р.Д. Поландова // Хлебопечение в России. – 2000. – № 3. – С. 17-19.
3. Маликтаева, П.М. Тамақ өнімдерінің сапасын физикалық-химиялық тұрғыдан талдау [Мәтін]: оқу құралы / П.М. Маликтаева. – Алматы: Эверо, 2014.

Материал редакцияға 14.11.25 түсті, 18.03.26 қабылданды.

К.Ш. Саржанова[1], П.М. Маликтаева[1], Т.Н. Сайлаубек[1]

[1]Международный Таразский университет им. Ш. Муртаза, Тараз, Казахстан

ВЛИЯНИЕ ЖИРОВЫХ ПРОДУКТОВ НА КАЧЕСТВО КАЗАХСКОЙ ТАПА-НАН

Аннотация. В статье исследована возможность использования жировых компонентов в рецептуре тапа-нана, одного из традиционных блюд казахского народа, с целью длительного сохранения свежести хлеба. В результате определены оптимальная рецептура и способ приготовления тапа-нана, сохраняющего свежесть в течение длительного времени. Определены качественные показатели бараньего жира и хлопкового масла, а также установлен оптимальный промежуток времени с учетом влияния способов внесения жировых компонентов на изменение набухания мякиша и его влажности. Результаты исследования представлены в виде сравнительного анализа 6 образцов. Выпеченный тапа-нан хранился без упаковки при температуре 25-30°С и относительной влажности 60-65%, при этом наиболее эффективным оказался образец II. Таким образом, целесообразным является применение поверхностно-активных веществ, полученных с использованием стационарного катализатора, а также гидрогенизированного хлопкового масла.

Ключевые слова: тапа-нан, дрожжи, жировые продукты, свежесть хлеба, черствость, мякиш хлеба.

K.Ch. Sarzhanova[1], P.M. Maliktaeva[1], T.N. Sailaubek[1]

[1]International Taraz University named after. Sh. Murtaza, Taraz, Kazakhstan

THE INFLUENCE OF FATTY PRODUCTS ON THE QUALITY OF KAZAKH TAPA-NAN

Abstract. The article investigates the possibility of using fat components in the formulation of tapa-nan, one of the traditional dishes of the Kazakh people, in order to preserve bread freshness for an extended period without staling. As a result, the optimal formulation and preparation method for tapa-nan with prolonged freshness were determined. The quality indicators of mutton fat and cottonseed oil were established, and the optimal time interval was identified considering the effect of fat incorporation methods on changes in crumb swelling and moisture content. The research results are presented as a comparative analysis of 6 samples. The baked tapa-nan was stored without packaging at a temperature of 25-30°C and relative humidity of 60-65%, with sample II showing the best performance. Thus, the use of surfactants obtained with a stationary catalyst, as well as hydrogenated cottonseed oil, is considered appropriate.

Keywords: tapa-nan, yeast, fatty products, bread freshness, staleness, bread crumb.

References

1. Baiysbayeva, M.P. Nan onimderi sapasyn bagalau adisteri [Methods for assessing the quality of bakery products]: textbook. – Almaty, 2020. – 171 p. [in Kazakh].
2. Bogatyreva T.G., Polandova R.D. Ispolzovanie tselevykh pshenichnykh zakvasok v proizvodstve khlebobulochnykh izdeliy [The use of targeted wheat starters in the production of bakery products] // Bakery Industry in Russia. – 2000. – No. 3. – P. 17-19. [in Russian].
3. Maliktayeva, P.M. Tamak onimderinin sapasyn fizikalyq-khimiyalyq turgydan taldau [Physicochemical analysis of food product quality]: textbook. – Almaty: Evero, 2014. [in Kazakh].

IRSTI 65.63.03

A.A. Turar[1] – *main author*,
S.T. Azimova[2], **F.A. Makhmudov**[3],
A.A. Zheldybayeva[4], **N.K. Bekmurat**[5]

©

[1,5]Master's student, [2,3,4]PhD, Associate Professor

ORCID
[1]https://orcid.org/0009-0002-1724-2842 [2]https://orcid.org/0000-0002-8992-8889
[3]https://orcid.org/0000-0002-7791-1588 [4]https://orcid.org/0000-0003-2207-4177
[5]https://orcid.org/0009-0008-6174-6363

[1,2,3,4,5]Almaty Technological University,
Almaty, Kazakhstan

@ *[1]azat.turar@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/RISN9017

DEVELOPMENT OF DETOXIFYING NATIONAL DAIRY PRODUCTS

Abstract. The article provides a comparative analysis of the physico-chemical composition of various types of milk: animal and vegetable, as well as mare's and camel's milk, including traditional fermented beverages – shubat and koumiss. Special attention is paid to the study of the interaction of these beverages with pectin in various concentrations (3%, 5% and 7%) in order to determine the optimal conditions for obtaining functional products with improved structural, mechanical and organoleptic characteristics. A comparative analysis of shubat and koumiss with their fresh dairy analogues has been carried out. Shubat has a low pH (3.8-4.5), high acidity (70-110°T), fat content up to 10% (against 4.5-5% in milk) and ash content up to 0.85%. Koumiss is characterized by a pH of 3.5-4.6, an acidity of 60-120°T, an alcohol content of 0.5-2.5%, carbon dioxide of 0.4-1.0%, reduced protein (1.8-2.2%) and fat (1.0-2.0%) compared with fresh milk. In both products, lactose is reduced to 0.8-1.5%, which improves tolerance. Both have increased antimicrobial activity and are promising for further studies with pectin. The results obtained confirm the prospects of using fur coat as a basis for creating innovative functional products focused on modern requirements of healthy and environmentally friendly nutrition.

Keywords: pectin, detox, shubat, koumiss, functional products, organoleptic properties, physico-chemical composition, food industry.

Turar A.A., Azimova S.T., Makhmudov F.A., Zheldybayeva A.A., Bekmurat N.K. Development of detoxifying national dairy products //Mechanics and Technology / Scientific journal. – 2026. – No.1(91). – P.83-94. https://doi.org/10.55956/RISN9017

Introduction. In the context of the deteriorating environmental situation and the increasing anthropogenic impact on the environment, one of the priorities of modern society is to ensure food security and improve the quality of nutrition. One of the significant risk factors for human health is food contamination with heavy metals and other toxicants, which actualizes the need to use natural detoxifiers and expand the production of functional foods [1].

Pectin is a promising natural biopolymer with pronounced sorption properties. Its use in the food industry allows not only to improve the textural and

organoleptic characteristics of products, but also to give them additional functional properties. It is especially important to study the possibilities of using pectin in combination with traditional fermented milk drinks - shubat and koumiss, which have long occupied an important place in the diet of the population and have high biological value [2].

Shubat is characterized by increased fat content, density and probiotic properties, while koumiss is characterized by more pronounced acidity, the presence of ethanol, lactic acid and almost complete absence of lactose, which makes it suitable for people with its intolerance. However, data on the interaction of these drinks with pectin and the effect of the latter on their physico-chemical and organoleptic characteristics are limited, which determines the relevance of conducting relevant studies [3].

The purpose of this work is to study the interaction of pectin with shubat and koumiss at various concentrations, as well as to determine the optimal conditions for obtaining functional products with improved structural and consumer properties.

Materials and methods. Raw dairy materials: for the development of functional detoxifying dairy products, the following traditional fermented beverages and fresh dairy bases were used:

Shubat – obtained from fermented camel milk. Characterized by high acidity (pH 3.8-4.5), titratable acidity of 70-110°T, fat content 5-10%, and reduced lactose content.

Koumiss – fermented mare's milk with mixed lactic acid and alcoholic fermentation. pH 3.5-4.6, acidity 60-120°T, alcohol content 0.5-2.5%, and reduced protein and lactose.

For comparative analysis, fresh camel milk and fresh mare's milk were also used as reference matrices to assess the impact of fermentation on physicochemical properties.

Plant-based component: Alpro Almond Milk was selected due to its moderate fat content (1.20 g/100 g), carbohydrate level (2.60 g), and low protein concentration (0.50 g). This component served as a supplementary base for evaluating its compatibility with fermented dairy beverages.

Pectin – commercial food-grade pectin (high-methoxyl type) was used as a structuring agent and natural detoxifier due to its sorption activity toward heavy metals and toxicants. Three concentrations were tested: 3%, 5%, and 7%.

Granulated sugar used to improve taste and aid pectin dispersion.

Experimental Samples: functional dairy samples were prepared by combining shubat or koumiss with almond milk and varying quantities of pectin. The formulations are presented in Table 5 of the study:

- Sample I – 3% pectin;
- Sample II – 5% pectin;
- Sample III – 7% pectin.

Each sample contained:

- 50 ml shubat or koumiss;
- 50 ml almond milk;
- 16 gr sugar.

Pectin was added according to the required concentration (3%, 5%, 7%).

All ingredients were weighed using laboratory electronic scales with ± 0.01 g accuracy.

Preparation of Raw Materials: all dairy and plant-based ingredients were pre-cooled to 4°C and mixed immediately before processing to prevent microbial proliferation. Pectin was pre-mixed with sugar in a dry state to prevent clumping during hydration.

Hydration and incorporation of pectin: The milk base (shubat/koumiss + almond milk) was heated over medium heat to improve pectin dispersion. The pre-mixed pectin-sugar blend was gradually added under continuous stirring to ensure uniform distribution.

Heat treatment: The mixture was brought to a boil and maintained for 30 seconds to ensure pasteurization while preventing excessive protein denaturation. This step facilitated pectin activation and gel formation under the acidic conditions characteristic of shubat and koumiss (pH < 4.5).

Cooling and structuring: After heat treatment, samples were cooled to room temperature (20-22°C), poured into sterile molds, and refrigerated at 4°C for 4-6 hours to allow complete gelation and stabilization of the structure.

Organoleptic evaluation: organoleptic characteristics (appearance, color, odor, taste, and consistency) were assessed according to national standards.

The optimal sample was determined based on:

- Homogeneity
- Viscosity and structural stability
- Absence of defects (syneresis, graininess, delamination)
- Balanced taste and aroma profile

Statistical processing: all measurements were performed in triplicate. Mean values and standard deviations were calculated. Differences between shubat-based and koumiss-based samples were interpreted qualitatively due to the study's comparative nature.

Research results. The results of the analysis of the physicochemical composition of plant-based milk products available on the market of the Republic of Kazakhstan, cow's milk, and mixtures of cow's and plant-based milk are presented in Tables 1 and 2 and compared with data reported in the literature. The titratable acidity and density of cow's milk and its mixtures with plant-based milk were measured in triplicate. The chemical composition of various types of animal and breast milk is presented in Table 1, while the composition of plant-based milk products available on the market of the Republic of Kazakhstan is shown in Table 2.

Table 1

Chemical composition of various types of animal and breast milk

Name	Cow	Mare	Sheep	Camel	Breast milk
Protein, g	3.30	2.70	5.50	3.50	1.20
Fat, g	1.98	1.60	5.30	4.50	3.80
Carbohydrates, g	4.80	6.20	4.60	4.90	7.20
Water, ml	89.21	89.00	83.64	86.22	87.49
Ash, g	0.71	0.50	0.96	0.88	0.31
Energy value, kcal/100 g	50.22	50.00	88.10	74.10	67.80

For further research, mare's and camel's milk were selected. According to Table 1, sheep's milk has the highest protein (5.50 g/100 g) and fat content (5.30 g/100 g), whereas mare's milk has the lowest fat content (1.60 g/100 g). Camel's milk contains 3.50 g/100 g of protein. Human breast milk is characterized by the highest carbohydrate content (7.20 g/100 g), followed by mare's (6.20 g/100 g) and

camel's (4.90 g/100 g) milk. The water content ranges from 83% to 89%, with the lowest value observed in sheep's milk, reflecting its higher nutrient density. Ash content, indicating mineral composition, is highest in sheep's milk (0.96 g/100 g) and lowest in human breast milk (0.31 g/100 g). The energy value ranges from 50.00 kcal/100 g (mare's milk) to 88.10 kcal/100 g (sheep's milk). Despite its low protein content, human breast milk provides relatively high energy (67.80 kcal/100 g) due to its fat and carbohydrate content. Overall, each type of milk exhibits a distinct nutritional profile.

Table 2

Chemical composition of vegetable milk presented on the market of the Republic of Kazakhstan

Title	Proteins, g/100 g	Fats, g/100 g	Carbohydrates, g/100 g	Water, g/100 g	Ash, g	Energy value, kcal /100 g
Classic oatmeal Nemoloko	1.00	1.50	6.50	90.10	0.90	45.00
Classic oatmeal extralight Nemoloko	1.00	0.50	6.50	91.10	0.90	35.00
Almond Alpro	0.50	1.20	2.60	94.90	0.80	24.00
Coconut Alpro	0.90	2.70	0.10	95.40	0.90	19.00
Soy Alpro	3.00	1.80	2.50	91.80	0.90	39.00
Soy Bite	3.60	1.80	1.00	92.60	1.00	36.00
Oatmeal Bite	1.50	1.50	7.50	88.50	1.00	50.00
Almond Bite	0.70	1.50	6.00	90.90	0.90	40.00
Coconut Velle	0.60	1.50	5.00	92.10	0.80	36.00
Almond Velle	1.00	1.50	6.00	90.60	0.90	40.00
Oatmeal Velle	1.50	3.20	7.50	86.90	0.90	65.00

The analysis of the chemical composition of various plant-based milk products available on the market of the Republic of Kazakhstan (Table 2) shows significant variability in the content of key macronutrients and energy value. Soy-based drinks, such as "Alpro" (3.00 g/100 g) and "Bite" (3.60 g/100 g), have the highest protein content, making them closest in nutritional value to cow's milk. Other types, including oat, almond, and coconut drinks, contain significantly less protein, ranging from 0.50 to 1.50 g/100 g.

The fat content is highest in "Alpro" coconut milk (2.70 g/100 g) and "Velle" oat milk (3.20 g/100 g), whereas lighter options such as "Nemoloko" contain minimal fat (0.50 g/100 g). Oat-based drinks exhibit the highest carbohydrate content (up to 7.50 g/100 g in "Velle" and "Bite"), due to the natural presence of starch, which also influences the sensory properties of the product. In contrast, "Alpro" coconut milk represents a low-carbohydrate option, containing only 0.10 g/100 g of carbohydrates.

The water content ranges from 86.90% to 95.40%, with "Velle" oat milk having the highest dry matter content and "Alpro" coconut milk the lowest. Ash content, reflecting mineral composition, ranges from 0.80 to 1.00 g/100 g, indicating the presence of micro- and macronutrients, although in lower amounts compared to animal milk. The energy value varies depending on composition: it is lowest in "Alpro" coconut milk (19 kcal/100 g) and highest in "Velle" oat milk (65 kcal/100 g), due to differences in carbohydrate and fat content.

Thus, plant-based milk products represent a diverse group with varying nutritional and functional profiles, allowing for the consideration of different

consumer needs, ranging from vegetarians to individuals with lactose intolerance. For further research, “Alpro” almond milk was selected due to its moderate fat content (1.20 g/100 g), carbohydrate content (2.60 g/100 g), and low protein content (0.50 g/100 g). The physicochemical properties of camel’s and mare’s milk, along with their comparative analysis, are presented in Table 3.

Table 3

Physicochemical properties of mare’s and camel milk

Indicator	Mare’s milk	Camel milk
Coagulation temperature	20-25°C (with starter culture)	Does not curdle at normal temperature
pH (acidity)	3.8-4.5 (high acidity)	6.5-6.7 (almost neutral)
Titrated acidity	70-110°T (Turner)	16-20°T
Water content	85-87%	86-88%
Protein	3.0-3.5%	3.1-3.5%
Fat	5.0-10.0% (depending on the formulation)	3.0-5.5%
Lactose	Lower than fresh (partially processed by bacteria)	4.5-5.0%
Density	1.020-1.035 g/cm^3	1.029-1.035 g/cm^3
Ash content (minerals)	0.8-0.9%	0.7-0.8%
Vitamins	Partially preserved: B1, B2, C, E, D, PP	B1, B2, C, D, E are more pronounced
Osmotic stability	Lower, prone to stratification during storage	Higher, but quickly deteriorates without cooling
Heat resistance of proteins	Decreases due to fermentation	High, can be pasteurized
Antimicrobial activity	It is expressed due to lactic acid bacteria	Natural, but weaker

Based on the data in Table 3, a comparative analysis of the physicochemical properties of shubat and fresh camel milk reveals notable differences primarily due to fermentation. Shubat is characterized by a lower pH (3.8-4.5) and higher titratable acidity (70-110°T), indicating active lactic acid fermentation, whereas fresh camel’s milk remains near neutral (pH 6.5-6.7) with low acidity (16-20°T), which makes it more susceptible to microbial spoilage.

Shubat coagulates at 20-25 °C, unlike fresh milk, which does not curdle at room temperature due to lower enzymatic activity. Both products exhibit similar protein and fat contents, however, the fat content in shubat may reach up to 10% depending on additives. Lactose levels are reduced in shubat, which enhances its digestibility for individuals with lactose intolerance.

The density of both products is similar, however, shubat demonstrates lower osmotic stability and prone to separation during improper storage. Its slightly higher ash content indicates an increased mineral concentration. Vitamins are better preserved in fresh milk, while shubat proteins are less heat-stable, in contrast to the heat-resistant proteins in camel milk that allow for pasteurization.

Shubat also demonstrates stronger antimicrobial activity due to organic acids and lactic microflora. Overall, shubat is a functional fermented product with enhanced biological activity and digestibility [8-14]. Physicochemical properties and the comparative analysis of koumiss and mare’s milk are presented in Table 4.

Table 4

Physicochemical properties of koumiss and mare's milk

Parameter	Koumiss	Mare's milk
Origin	Fermented mare's milk	Fresh mare's milk
Condition	Liquid, slightly frothy, with gases	Liquid, watery, homogeneous
Color	Milky white, maybe with bubbles	Bluish-white
pH (acidity)	3.5-4.6	6.7-7.0
Titrated acidity	60-120°T (depends on the maturity of the koumiss)	6-8°T
Density	1.010-1.030 g/cm^3	1.027-1.032 g/cm^3
Water content	89-91%	~89-91%
Squirrels	1.8-2.2% (partially split during fermentation)	2.0-2.5%
Fats	1.0-2.0% (partially split)	1.2-1.5%
Lactose (milk sugar)	0.8-1.5% (the main part is processed by bacteria)	6.0-7.5%
Alcohol (ethanol)	0.5-2.5% (depends on the strength of the koumiss)	Missing
pH (acidity)	3.5-4.6	6.7-7.0
Titrated acidity	60-120°T (depends on the maturity of the koumiss)	6-8°T
Density	1.010-1.030 g/cm^3	1.027-1.032 g/cm^3
Water content	89-91%	~89-91%
Squirrels	1.8-2.2% (partially split during fermentation)	2.0-2.5%
Fats	1.0-2.0% (partially broken down)	1.2-1.5%
Lactose (milk sugar)	0.8-1.5% (the main part is processed by bacteria)	6.0-7.5%
Alcohol (ethanol)	0.5-2.5% (depends on the strength of the koumiss)	Absent
Carbon dioxide	0.4-1.0%	Absent
Ash content (minerals)	0.4-0.6%	0.5-0.6%
Vitamins	B1, B2, C, A, D, E – partially preserved, + folic acid	B1, B2, C, D – more fresh
Enzymes	Present (lactic acid and alcohol bacteria)	Natural enzymes in small amounts
Antimicrobial properties	High levels are due to lactic acid and alcohol	Moderate
Heat resistance	Low-pasteurization destroys bacteria	Can be pasteurized at 63-72°C

The analysis of the physicochemical properties of koumiss and fresh mare's milk reveals significant differences due to fermentation processes. Koumiss, a product of mixed lactic acid and alcoholic fermentation, has a lower pH (3.5-4.6) and higher acidity (60120°T) compared to fresh mare's milk (pH 6.7-7.0; 6-8°T), indicating its acidic nature.

Organoleptically, koumiss is milky-white, slightly foamy, and carbonated, while mare's milk is more homogeneous and bluish-white. Koumiss has a slightly lower density (1,010-1,030 g/cm³) than milk (1,027-1,032 g/cm³) due to lactose

processing and partial breakdown of proteins and fats. Both contain 89-91% water, but koumiss includes up to 2.5% ethanol and CO_2, absent in fresh milk.

Protein and fat levels are slightly lower in koumiss (1.8-2.2% and 1.0-2.0%) than in milk (2.0-2.5% and 1.2-1.5%), and lactose is significantly reduced (0.8-1.5% vs. 6.0-7.5%), improving digestibility for lactose-intolerant individuals. Ash content is similar (0.4-0.6%).

Koumiss contains B vitamins and vitamins C, A, D, E, and folic acid, while fresh milk initially has higher water-soluble vitamin content, which can decline with storage or heat. Koumiss also shows higher enzymatic and antimicrobial activity due to its acidic environment and fermentation by-products, while mare's milk is more perishable and requires cooling.

Given that pectin activates in acidic conditions (pH < 4.5), koumiss and shubat are considered optimal bases for further development of functional food products [15-17].

The formulation of a functional national dairy product containing pectin is presented in Table 5 below:

Table 5

Functional national dairy product containing pectin (Shubat\Koumiss)

	Sample I		Sample II		Sample III	
	Gross	Net	Gross	Net	Gross	Net
Shubat\Koumiss	50 ml	50 ml	50 ml	50 ml	50 ml	50 ml
Almond milk	50 ml	50 ml	50 ml	50 ml	50 ml	50 ml
Sugar	16 g	16 g	16 g	16 g	16 g	16 g
Pectin	3 g (3%)	3 g (3%)	5 g (5%)	5 g (5%)	7 g (7%)	7 g (7%)
Exit	-	100 g	-	100 g	-	100 g

The samples were taken in a ratio of 1 to 10.

The technological process for producing a functional traditional dairy product enriched with pectin (shubat/koumiss) includes the following stages:

1. Raw material preparation: All ingredients (shubat/koumiss, almond milk, sugar, and pectin) were prepared and weighed according to the formulation.
2. Pectin preparation: Pectin was pre-mixed with sugar to ensure uniform distribution.
3. Preparation of the milk base: Shubat or koumiss was mixed with almond milk and heated under moderate conditions.
4. Incorporation of pectin: The pectin-sugar mixture was gradually added to the milk base with continuous stirring.
5. Heat treatment: The mixture was brought to a boil and maintained for 30 seconds to ensure pasteurization.
6. Cooling and structuring: The product was cooled to room temperature, poured into molds, and stored under refrigeration for at least 4 hours to allow structure formation.

Based on the study of the interaction between fermented dairy products and pectin, it was established that shubat exhibits better compatibility with pectin compared to koumiss. Among the tested formulations, sample No. 2, containing 5% pectin, demonstrated the most optimal structural and quality characteristics.

Discussion. In this study, the interaction between two traditional fermented dairy products, shubat and koumiss, and varying concentrations of pectin was investigated in order to determine optimal conditions for obtaining stable products with improved structural and mechanical properties.

To evaluate the interaction of fermented milk drinks with pectin, samples with different pectin contents were prepared: 3%, 5% and 7%. The samples were subjected to a comprehensive analysis of organoleptic parameters.

The results of this study are consistent with previous research demonstrating that pectin enhances the texture, viscosity, and stability of fermented dairy products. Studies by Smith et al. (2018) and Li and Zhang (2020) reported improved gel formation and homogeneity in dairy systems with sufficient protein content, which corresponds to the superior performance of shubat observed in the present study. In contrast, koumiss exhibited weaker interactions with pectin, consistent with the findings of Kumar et al. (2017), which may be attributed to its lower protein content and different acid composition. These findings suggest that traditional fermented beverages, particularly shubat, can serve as effective carriers for functional ingredients such as pectin, providing improved structural properties along with acceptable organoleptic characteristics.

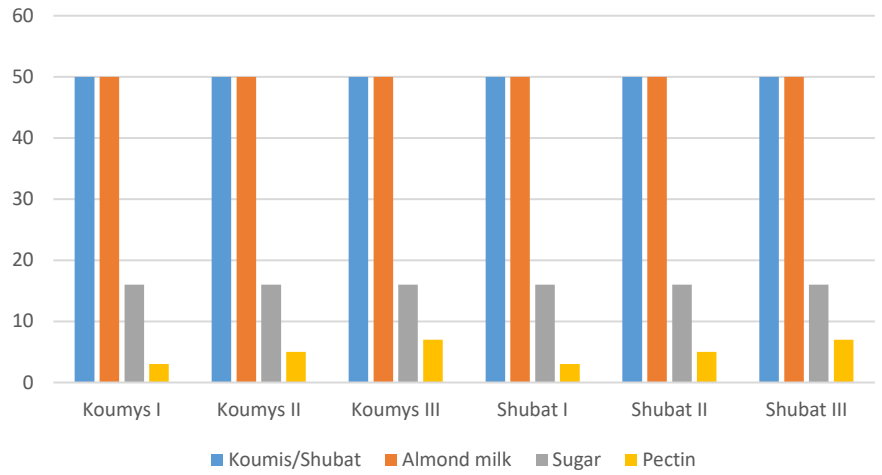


Fig. 1. Functional national dairy product containing pectin (Shubat\Koumiss)

The results of the study showed that shubat interacts better with pectin compared to koumiss. This translates into a more homogeneous structure and optimal texture of the final product. The most pronounced positive effect was achieved when using a 5% concentration of pectin, sample No. 2.

In particular, sample No. 2 containing 5% pectin was characterized by the following properties:

– Optimal viscosity, providing a pleasant mouthfeel and resistance to phase separation;

– High structural homogeneity, indicating uniform distribution of pectin and its effective interaction with the protein components of shubat;

– Favorable organoleptic properties, contributing to increased consumer acceptability;

– Enhanced storage stability, making the product promising for industrial applications.

In contrast, koumiss exhibited less pronounced interaction with pectin, which may be attributed to the особенности its acid composition and lower protein content involved in gel structure formation.

Thus, it can be concluded that shubat represents a more suitable base for the development of pectin-enriched products. The optimal technological and consumer characteristics were achieved at a pectin concentration of 5%, as confirmed by both qualitative and quantitative indicators of sample No. 2.

The organoleptic parameters of sample No. 2 (according to ND) are presented in Table 6.

Table 6

Organoleptic parameters of sample No. 2 (according to ND)

Indicator	Description
Appearance	The mass is homogeneous, with a smooth, even surface, without cracks, bubbles and delamination. A light sheen, characteristic of gelling dessert masses, is allowed.
Colour	Beige, uniform throughout the entire mass, without extraneous inclusions, spots or heterogeneous zones. The color corresponds to the ingredients of the recipe (for example, dairy products, flavors, thickeners).
Consistency	Dense, jelly-like, elastic when pressed, retains its shape when laid out of the mold. Without excessive brittleness or fluidity.
Smell	Clean, with a pronounced almond flavor. No foreign, sour, musty or chemical odors.
Taste	Balanced sweet and sour, with a pronounced almond flavor. Without bitterness, excessive acidity or foreign tastes.

To evaluate the effect of pectin concentration on the properties of shubat and koumiss, a one-way analysis of variance (ANOVA) was performed, followed by Tukey's post-hoc test for pairwise comparison of samples. Each variant was prepared in three independent replicates, and viscosity, structural homogeneity, and organoleptic parameters were measured.

The results showed that differences between samples in key parameters were statistically significant ($p < 0.05$). The most balanced characteristics were observed in sample No. 2 with 5% pectin: optimal viscosity, high structural homogeneity, and superior organoleptic properties. Correlation analysis confirmed a direct relationship between pectin content and improvement of gel-forming properties of shubat up to a 5% concentration.

Thus, statistical analysis supports the selection of 5% pectin as the optimal concentration for the development of a functional dairy product.

Conclusion. Among the many challenges currently facing humanity, environmental pollution with various chemicals, products of technogenesis remains a pressing issue, with heavy metals representing a significant proportion. The state of the environment in many regions of Kazakhstan, accompanied by contamination of ecosystems and food with toxic substances, underscores the importance of food safety and highlights the need to expand the production of pectin and pectin-containing products as natural detoxifiers.

The development of a functional national dairy product containing pectin is a promising area in the food industry that meets modern requirements of functional nutrition. The inclusion of pectin in dairy products not only improves their texture and taste characteristics, but also gives additional functionality due to its beneficial properties such as improved digestion, immune system support and cholesterol reduction.

In addition, the discussed possibility of further research aimed at studying the interaction of pectin with traditional dairy drinks such as koumiss and shubat

opens up new horizons for the development of innovative products that can meet the needs of modern consumers seeking a healthy and environmentally friendly diet.

Thus, continued research and the introduction of pectin-based technologies in the production of dairy products is important for the development of functional nutrition, expanding the range of products and improving their beneficial properties.

References

1. Azimova S.T., Kizatova M.Zh. Osnovy formirovaniya detoksikatsionnykh svoystv produktov pitaniya na osnove tykvennogo pektina [Fundamentals of the formation of detoxification properties of foods based on pumpkin pectin]. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2020. – 145 p. [in Russian].
2. Kizatova M.Zh., Iskakova G.K., Nabiyeva Zh.S., Azimova S.T., Ustenova G.O., Kozhanova K.K. Pektiny: osnovnye svoystva, tekhnologii, primenenie [Pectins: basic properties, technologies, application]: monograph. – Almaty: IP «Miras», 2020. – 265 p. [in Russian].
3. Kulazhanov K.S., Alimardanova M.K., Kulazhanov T.K. Primenenie alternativnykh metodov obrabotki moloka pri proizvodstve molochnykh produktov iz moloka selskokhozyaystvennykh zhivotnykh [Application of alternative milk processing methods in the production of dairy products from the milk of farm animals]. – Almaty: Almanakh, 2023. – 286 p. [in Russian].
4. Rumyantsev A.V. Sbornik retseptur blyud i kulinarnykh izdeliy. Normativnaya dokumentatsiya dlya predpriyatiy obshchestvennogo pitaniya [Collection of recipes of dishes and culinary products. Regulatory documentation for public catering enterprises]. – Moscow: Delo i servis [Business and Service], 1998. – Vol. 864. – P. 12. [in Russian].
5. Barmin S.M. Tekhnologiya molochnykh produktov [Technology of dairy products]. – Moscow: Agropromizdat, 2018. – 320 p. [in Russian].
6. Zvereva E.N. Funktsionalnye molochnye produkty: svoystva i tekhnologii proizvodstva [Functional dairy products: properties and production technologies]. – Moscow: Nauka, 2017. – 208 p. [in Russian].
7. Fedorova O.V. et al. Molochnye produkty s dobavleniem pektina i drugikh polisakharidov [Dairy products with the addition of pectin and other polysaccharides] // Bulletin of the dairy industry. – 2017. – No. 9. – P. 88-93. [in Russian].
8. Moldabayeva Z.M., Muldasheva G.N., Konuspayeva G.S. The Main Features and Microbiota Diversity of Fermented Camel Milk (Shubat) // Foods. – 2024. – Vol. 13. – No. 8. – P. 1148.
9. Rakhmatulina A. et al. Advancements in camel milk drying technology: A comprehensive review of methods, chemical composition, and nutritional preservation //Dairy. – 2024. – Vol. 5. – No. 3. – P. 360-371. https://doi.org/10.3390/dairy5030029.
10. Dikhanbayeva F. et al. Effect of nutritional supplements on the physico-structural and sensory characteristics of low-fat camel milk yogurt //Journal of Dairy Research. – 2024. – Vol. 91. – No. 3. – P. 330-338. https://doi.org/10.1017/S002202992400058X.
11. Seyiti S., Kelimu A., Yusufu G. Bactrian camel milk: chemical composition, bioactivities, processing techniques, and economic potential in China //Molecules. – 2024. – Vol. 29. – No. 19. – P. 4680. https://doi.org/10.3390/molecules29194680.
12. Seifu E. Camel milk products: innovations, limitations and opportunities //Food Production, Processing and Nutrition. – 2023. – Vol. 5. – No. 1. – P. 15. https://doi.org/10.1186/s43014-023-00130-7.

13. Konuspayeva G., Faye B., Loiseau G. The composition of camel milk: a meta-analysis of the literature data //Journal of food composition and analysis. – 2009. – Vol. 22. – No. 2. – P. 95-101. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.09.008.
14. Bilal Z. et al. The main features and microbiota diversity of fermented camel milk //Foods. – 2024. – Vol. 13. – No. 13. – P. 1985. https://doi.org/10.3390/foods13131985.
15. Boranbayeva T. et al. Influence of stage lactation on quality and protein compositions of Kazakh mare milk and koumiss //Slovak Journal of Food Sciences. – 2024. – Vol. 18. – P. 964-976.
16. Toishimanov M. et al. The effects of the lactation period, mare age, and foaling on the chemical and physical composition of milk from Kazakh mares kept under natural pasture conditions //Animals. – 2025. – Vol. 15. – No. 12. – P. 1817.
17. Kossaliyeva G. et al. Chemical composition, physical properties, and immunomodulating study of mare's milk of the Adaev horse breed from Kazakhstan //Frontiers in Nutrition. – 2025. – Vol. 12. – P. 1443031.

Received: 20 October 2025
Accepted: 26 December 2025

А.А. Тұрар[1], С.Т. Азимова[1], Ф.А. Махмудов[1], А.А. Жельдыбаева[1], Н.Қ. Бекмұрат[1]

[1]Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан

ҰЛТТЫҚ СҮТ ӨНІМДЕРІН ДЕТОКСИКАЦИЯЛАУ

Аңдатпа. Мақалада дәстүрлі ашытылған сусындар – шұбат және қымыз сияқты сүт түрлерінің, жануарлар мен өсімдіктердің, сондай-ақ бие мен түйенің физика-химиялық құрамына салыстырмалы талдау жүргізілді. Құрылымдық-механикалық және органолептикалық сипаттамалары жақсартылған функционалды өнімдерді алудың оңтайлы жағдайларын анықтау мақсатында осы сусындардың әртүрлі концентрациядағы (3%, 5% және 7%) пектинмен өзара әрекеттесуін зерттеуге ерекше назар аударылды. Шұбат пен қымыз жаңа сүт аналогтарымен салыстырмалы талдау жүргізілді. Шұбат pH төмен (3,8-4,5), қышқылдығы жоғары (70-110°T), майлылығы 10% дейін (сүтте 4,5-5% қарсы) және күлділігі 0,85% дейін. Қымыз жаңа сүтпен салыстырғанда pH 3,5-4,6, қышқылдығы 60-120°T, алкоголь мөлшері 0,5-2,5%, көмірқышқыл газы 0,4-1,0%, ақуыз (1,8-2,2%) және май (1,0-2,0%) төмендеуімен сипатталады. Екі өнімде де лактоза 0,8-1,5% дейін төмендейді, бұл төзімділікті жақсартады. Екеуі де микробқа қарсы белсенділікті жоғарылатады және пектинмен әрі қарай зерттеу үшін перспективалы. Алынған нәтижелер шұбатты салауатты және экологиялық қауіпсіз тамақтанудың заманауи талаптарына бағдарланған инновациялық функционалдық өнімдерді жасау үшін негіз ретінде пайдалану перспективасын растайды.

Тірек сөздер: пектин, детокс, шұбат, қымыз, функционалдық өнімдер, органолептикалық қасиеттері, физика-химиялық құрамы, тамақ өнеркәсібі.

А.А. Турар[1], С.Т. Азимова[1], Ф.А. Махмудов[1], А.А. Жельдыбаева[1], Н.К. Бекмурат[1]

[1]Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан

РАЗРАБОТКА ДЕТОКСИКАЦИОННЫХ НАЦИОНАЛЬНЫХ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

Аннотация. В статье проведён сравнительный анализ физико-химического состава различных видов молока: животного и растительного, а также кобыльего и

верблюжьего, включая традиционные ферментированные напитки — шубат и кумыс. Особое внимание уделено исследованию взаимодействия данных напитков с пектином в различных концентрациях (3%, 5% и 7%) с целью определения оптимальных условий получения функциональных продуктов с улучшенными структурно-механическими и органолептическими характеристиками. Проведен сравнительный анализ шубата и кумыса с их свежими молочными аналогами. Шубат имеет низкий pH (3,8-4,5), высокую кислотность (70-110°T), жирность до 10% (против 4,5-5% в молоке) и зольность до 0,85%. Кумыс характеризуется pH 3,5-4,6, кислотностью 60-120°T, содержанием спирта 0,5-2,5%, углекислого газа 0,4-1,0%, сниженным белком (1,8-2,2%) и жиром (1,0-2,0%) по сравнению со свежим молоком. В обоих продуктах лактоза снижается до 0,8-1,5%, что улучшает переносимость. Оба обладают повышенной антимикробной активностью и перспективны для дальнейших исследований с пектином. Полученные результаты подтверждают перспективность использования шубата в качестве основы для создания инновационных функциональных продуктов, ориентированных на современные требования здорового и экологически безопасного питания.

Ключевые слова: пектин, детокс, шубат, кумыс, функциональные продукты, органолептические свойства, физико-химический состав, пищевая промышленность.

ҒТАМР 65.59.03

Ж. Жамекова[1] – *негізгі автор,*
У. Чоманов[2], Ж. Искакова[3], Н. Акишев[4]

[1]Техн. ғылым. магистрі, [2]Техн. ғылым. д-ры, профессор, [3]Ауыл шаруашылығы ғылым. канд., қауымдас. профессор, [4]Техн. ғылым. канд.

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0002-4983-3340 [2]https://orcid.org/0000-0002-5594-8216 [3]https://orcid.org/0000-0002-2688-0670 [4]https://orcid.org/0009-0003-4514-8957*

[1,3]Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан
[2]Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері Ғылыми зерттеу институты, Алматы, Қазақстан
[4]Назарбаев университеті, Астана, Қазақстан

@ *[1]zhazirazhamekova@gmail.com*

https://doi.org/10.55956/WCBQ8168

БҰЗАУ ЕТІНІҢ ЖІКТЕЛУІ ЖӘНЕ ҰШАСЫН БӨЛШЕКТЕУ СЫЗБАСЫН СТАНДАРТТАУ

Аңдатпа. Бұзау еті өзінің тағамдық құндылығымен тұтынушылар арасында кеңінен бағаланады. Бұзау еті әдетте жас (жыныстық жетілмеген) ірі қара малдан 8 айға дейін, ең көп дегенде 12 айлық жасында алынады. Еуропа нарығында бұзау классификациясы мен еттің бөліну сипаттамалары азықтық жүйелер мен ет қасиеттеріне қарағанда әлдеқайда жақсы реттеледі. Алайда Қазақстанда бұзау етіне бекітілген классификация схемасы және оны тауарлық бөліктерге бөлу жүйесі жоқ. Зерттеуде бұзаудың жаңа дифференцияланған схемасын өнеркәсіптік өңдеу, қоғамдық тамақтану және сауда желісі арқылы өткізу үшін қолдану мүмкіндігі қарастырылды. Қазақстан жағдайына бейімделген, бұзау етін сүйекті және сүйексіз бөліктерге бөлу схемасы «Бұзау еті» СТ РК мемлекеттік стандартының әзірлеу негізіне алынатын болады. Бұзаудың әртүрлі бөліктеріндегі жалпы ақуыз құрамындағы айырмашылықтар анықталды (15,15-23,25%) ($P \geq 0,5$), аз мөлшердегі дәнекер тінді ақуыздар қарын, артқы және алдыңғы аяқтарда, қабырға және омыртқа бұлшықеттерінде, кеуде қуысының алдыңғы және артқы бөліктерінде орналасқан. Зерттеу нәтижесінде бұзау етін тиімді бөлшектерге бөліп сыртқы саудаға шығару ұсынылды.

Тірек сөздер: бұзау еті, сүт бұзауы, ұшаны жіліктеу, химиялық құрамы, стандарттау, еттілік көрсеткіші.

Жамекова, Ж. Бұзау етінің жіктелуі және ұшасын бөлшектеу сызбасын стандарттау [Мәтін] / Ж. Жамекова, У. Чоманов, Ж. Искакова, Н. Акишев // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.95-110. https://doi.org/10.55956/WCBQ8168

Кіріспе. Қазіргі таңда Қазақстанның ет өнімдері жаһандық нарықта жоғары бәсекеге қабілеттілігін танытуда. 2024 жылдың қорытындысы бойынша Қазақстан өңделген сиыр етінің экспортын 1,4 есеге – 22 мың тоннаға дейін, ал қойорт 2,2 есеге, 18 мың тоннаға дейін ұлғайтты. Тірі малға есептегенде бұл 122 мың ірі қара және 1 млн ұсақ мал басын құрайды. Салыстыру үшін тірі малдың нақты экспорты 92 мың бас ІҚМ және 47 мың бас ұсақ малды құрады, бұл ел ішінде қайта өңдеу мен қосылған құнның

өсуін растайды. Өткізу нарықтарын әртараптандыру бойынша жүйелі жұмыс шеңберінде 2024 жылдан бастап қазақстандық өндірушілер жаңа шетелдік нарықтарға, атап айтқанда Тәжікстан, Қытай, Грузия, Сирия және Иорданияға қол жеткізді, бұл өсудің маңызды факторына айналды. Соңғы статистикалық көрсеткіштерге сүйенсек, отандық өндірушілер жарты жыл ішінде Таяу Шығыс пен Орталық Азия аймақтарына (атап айтқанда, Өзбекстан, БӘӘ, Сауд Арабиясы) 12 мың тоннадан астам ет экспорттаған [1,2].

2023 жылғы 1 қыркүйектегі халыққа жолдауында Мемлекет басшысы үш жыл ішінде агроөнеркәсіп кешенінде ауыл шаруашылығы өнімдерін өңдеу үлесін 70% арттыруды тапсырды, және осы тапсырманы орындау мақсатында ауыл шаруашылығы өнімдерін өңдеу және тамақ өнеркәсібін дамыту жөніндегі 2024-2028 жылдарға арналған кешенді іс-шаралар жоспары әзірленді [3]. Осы қарқынды сақтау үшін отандық өнім сапасын халықаралық техникалық регламенттерге сәйкестендіру – стратегиялық маңызды мәселе болып табылады.

Қазіргі HoReCa (қонақ үй, мейрамхана) индустриясы стейктер мен ірі кесектер дайындау үшін ауыр салмақты бұзау етіне басымдық беруде. Ал жеңіл және орташа тығыздықтағы ұшалар көбіне сүйексіз бөлшектеу мен өңдеу өнеркәсібінде қолданылады.

Ұша сапасын саралаудың негізгі критерийлері. Сүт бұзауы мен ересек мал ұшаларын ажырату кешенді бағалауды қажет етеді. Бұл процесс келесі факторларға негізделеді:

1. Ет пен майдың сипаты: бұлшықет тінінің түсі мен текстурасы, май қыртысының орналасуы мен құрылымы.
2. Остеологиялық көрсеткіштер: сүйектер мен шеміршектердің пішіні, олардың сүйектену (оссификация) дәрежесі. Сүт бұзауларында омыртқа жотасы мен сегізкөз аймағында шеміршек тіндері айқын сақталады.
3. Ұша контуры: физиологиялық жетілген ұшалардың пішіні көбіне «созылған» немесе «бөшке тәрізді» болып келеді.

Жіліктеу барысында сүт бұзауларының жұлын бағанындағы омыртқалардың арасында шеміршектердің толық сақталуы және сегізкөз бөліктерінің анық ажыратылып тұруы — өнімнің жас ерекшелігі мен жоғары сапасының басты белгісі болып табылады.

Бұзау етінің терминологиялық жіктелуі және өндірістік санаттары. «Бұзау еті» ұғымы халықаралық тәжірибеде жануардың жасына, салмағына және азықтандыру рационына байланысты бірнеше дербес топтарға бөлінеді [7-9].

Бұзау етінің органолептикалық және морфологиялық сипаттамалары жануардың биологиялық жасына және азықтандыру технологиясына тікелей тәуелді. Әлемдік нарықта 20 аптаға дейінгі, рационы тек сүтпен немесе арнайы алмастырғыштармен өсірілген жас мал еті ерекше сұранысқа ие. АҚШ пен Еуропалық зерттеулер бұзау ұшасының құрамы оның салмағына пропорционалды түрде өзгеретінін дәлелдеді. Мәселен, ұша салмағы 88 кг-нан 108 кг-ға артқан сайын сүйек тінінің үлесі азайып, май қабатының көрсеткіші жоғарылайды [4-10].

Ғылыми әдебиеттерде, соның ішінде Kinsman (1989), Specht пен Faustman (1994) зерттеулерінде бұзау етінің келесідей негізгі түрлері сараланған [4,5]:

1. «Боб» бұзау еті (Bob Veal): Бұл санатқа жаңа туған, жасы бір аптадан аспаған (әдетте 2 сағаттан 3 күнге дейін) бұзаулар жатады. Олардың

ұша салмағы өте жеңіл – шамамен 9 кг-нан 27 кг-ға дейінгі аралықты қамтиды. Сою жасына байланысты келесідей градация қалыптасқан: жасы 4 аптадан аспаған, тірілей салмағы 57 кг-ға дейінгі (ұша салмағы ~31 кг) төлдер, 4-тен 12 аптаға дейін: ұша салмағы 36-68 кг; 20 аптаға дейін: ұша салмағы 56-135 кг. Өнім сипаттамасы: еттің түсі піл сүйегіне немесе ақшыл қызғылт реңкке ие, құрылымы өте нәзік, тығыз әрі барқыт секілді жұмсақ келеді.

2. Сүт бұзаулары (Milk-fed Veal): Жасы 4-тен 12 аптаға дейінгі, салмағы 57-140 кг (ұшасы 31-77 кг) аралығындағы топ. Негізінен Гольштейн тұқымының еркек бұзаулары осы санатқа жатады. АҚШ нарығындағы бұзау етінің басым бөлігі дәл осы сүтпен қоректенген бұзаулардан алынады.

3. Арнайы бордақыланған бұзаулар (Special-fed Veal): 12-ден 20 аптаға дейін жетілген, тірілей салмағы 140-227 кг-ға (ұша салмағы 77-125 кг) жететін ауыр салмақты санат. Бұл топтағы жануарлар теңдестірілген сүт қоспаларымен немесе байытылған қатты жеммен өсіріледі.

4. Дәнді немесе аралас азықпен бордақыланған бұзаулар («Қызыл ет»): Рационында шөп, астық және басқа да қатты азық түрлері басым жануарлар. Бұл азықтандыру түрі еттің түсін қошқылдандырып, оған айқын мәрмәрлік сипат береді. Канадада бұл категория «ересек бұзау» ретінде сатылады. Сою көрсеткіштері: жасы 22-26 апта, салмағы 290-320 кг. Еуропада бұл өнімді «жас мал еті», ал Ұлыбританияда «қызғылт бұзау еті» деп атау қабылданған.

5. Жайылымда өсірілген бұзаулар: Табиғи жайылымдарда еркін өскен жануарлар. Айта кетерлігі, АҚШ-тың ресми стандарттарында бұл санат үшін әлі де нақты бекітілген атау жоқ.

Аймақтық ерекшеліктер: Канадада (Онтарио) сүтпен және дәнді жеммен бағылған екі түрлі өнім шығарылады. Сүт диетасындағы бұзаулар 20-24 аптада (салмағы 205-227 кг) сойылып, ерекше дәмдік қасиеттерімен ерекшеленеді. Ал дәнді жемдегі бұзаулар (салмағы 296-318 кг) сиыр етіне ұқсас хош иісімен сипатталады, бірақ оған қарағанда нәзік болады [10].

Қазақстанның ішкі нарығында бұзау еті дәстүрлі түрде тек екі топқа («сүт бұзауы» және «кәдімгі бұзау») бөлінгенімен, экспорттық әлеуетті арттыру үшін халықаралық деңгейдегі көп санатты жіктеу және кулинарлық бөлшектеу жүйесіне көшу қажеттілігі туындап отыр. Тұтынушылардың денсаулығы үшін ең пайдалы өнім ретінде жайылымда табиғи емізумен өсірілген жануарлар еті танылады.

Сүт бұзаулары мен жас бұзаулардың морфологиялық және ветеринарлық-санитарлық сипаттамасы.

Қазақстандағы ет өңдеу өнеркәсібінде мал төлдерін азықтандыру түрі мен жасына қарай жіктеу өнімнің тауарлық құндылығын анықтауда маңызды рөл атқарады.

1. Сүт бұзаулары (Milk-fed veal): Бұл санатқа жасы 14 күннен 3 айға дейінгі, рационы тек ана сүтінен немесе арнайы сүт алмастырғыштардан тұратын төлдер жатады. Олардың физиологиялық ерекшеліктеріне көздің шырышты қабатының ақшыл реңі, иек пен таңдайдың бозғылт немесе ақшыл-сарғыш түсі тән. Ұшаны саралау кезінде етінің сұрғылт-қызғылт реңі, барқыт секілді нәзік құрылымы және май қабатының жұмсақ, икемді консистенциясы негізге алынады. Қабырға сүйектері қанық қызыл түспен ерекшеленеді.

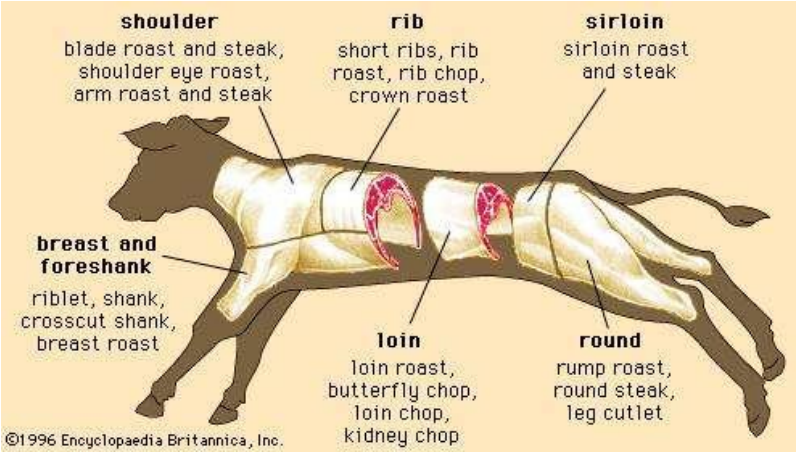
2. Жас бұзаулар (Young calves): Рационында сүтпен қатар қосымша қатты азық (шөп, жем) бар, жасы 3 айға дейінгі төлдер. Мұндай жануарлардың ауыз қуысы мен қабақтарының шырышты қабаттарында

айқын қызғылт реңк байқалады. Ұшасының еті анағұрлым тығыз, түсі сұрғылт-қызыл болып келеді, ал қабырға сүйектерінің қызыл түсі бәсеңдей бастайды [9].

Бұзау ұшасын бөлшектеу технологиясы (АҚШ стандарты) Американдық жіліктеу жүйесі бойынша (1-сурет), ұша сойылғаннан кейін симметриялы түрде алдыңғы және артқы сегменттерге бөлінеді:

1. Алдыңғы бөлік (Forequarter): мұнда иық, қабырға, төстік және алдыңғы сирақ секілді негізгі көтерме сауда жіліктері өндіріледі.

2. Артқы бөлік (Hindquarter): бұл сегменттен ең құнды филе бөліктері, жамбас және сан етінің (round) коммерциялық кесінділері алынады [11-13].



Сурет 1. Бұзау ұшасын бөлшектеудің АҚШ-та қабылданған сызбасы [1996]

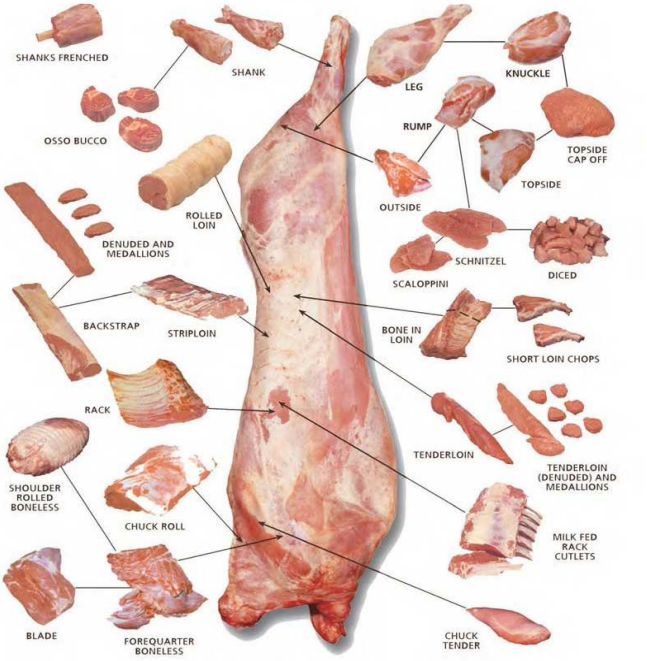
АҚШ-та қабылданған бұзау ұшасын жіліктеу әдістемесі. Американдық технологиялық стандарттарға сәйкес, сойылғаннан кейін бұзау ұшасы алдыңғы және артқы сегменттерге (sides) теңдей бөлінеді. Ұшаның алдыңғы бөлігінен (forequarter) иық белдеуі, қабырға сегменттері, төстік пен алдыңғы сирақтың негізгі көтерме сауда жіліктері дайындалады. Ал артқы бөліктен (hindquarter) жоғары сапалы филе (loin), жамбас (leg) және артқы сан бөлігінің (round) негізгі коммерциялық бөлшектері өндіріледі. Бұл жүйе әрбір жіліктің өнеркәсіптік құндылығын сақтай отырып, оларды нарықтық сұранысқа сай оңтайлы бөлуді көздейді [14-16].

Бұзау ұшасын жіліктеудің Австралиялық нұсқасы. Австралияның дүние жүзі бойынша жоғары сапалы ет және ет өнімдерімен қамтамасыз ететін ірі Глобал Митс (*Global Meats)* компаниясының сарапшылары бұзау ұшасын 12 жілікке бөледі, 12 жіліктен 18 кулинарлық бөліктер шығады (2-сурет) [17].

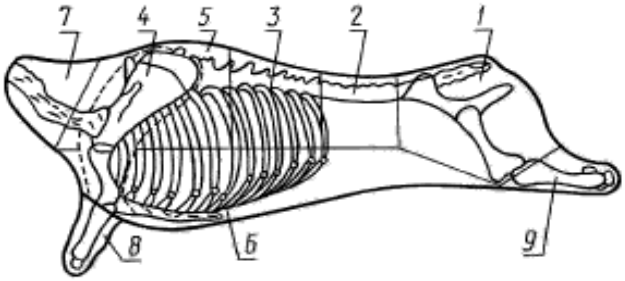
Бұзау ұшаларын бөлшектеудің кеңестік кезеңдегі дәстүрлі жүйесі КСРО кезеңінде қолданыста болған бұзау етін жіліктеу сызбасы мемлекеттік стандарттармен қатаң регламенттелген. Атап айтқанда, ГОСТ 23219-1978 талаптарына сәйкес, бөлшек сауда желілеріне бағытталған бұзау ұшалары 9 негізгі сегментке бөлінетін (3-сурет).

Аталған стандарт бойынша әрбір бөлік сапалық деңгейіне қарай үш тауарлық сұрыпқа (I, II, III) жіктелген. Сауда орындарына өнім бүтін ұша немесе жартылай ұша түрінде, сонымен қатар бел бұлшықеттері, бүйрек, бүйрек маңы мен жамбас майлары және бұғақ безімен жиынтықталған

күйінде жеткізілуі тиіс болатын. Технологиялық талаптарға сай, ұша омыртқа жотасының бойымен қақ ортасынан симметриялы түрде екі жартылай ұшаға ажыратылады. Бұл ретте омыртқаның сүйір өсінділері ұшаның оң жақ бөлігінде сақталуы қатаң қадағаланады.



Сурет 2. Австралиялық Глобал Митс компаниясы пайдаланатын бұзау етін бөлшек саудаға жіліктеу сызбасы



1 – жамбас сан бөлігі; 2 – белдеме; 3 – арқа бөлігі; 4 – жауырын бөлігі; 5 – иық асты бөлігі; 6 – төстігі шап етімен бірге; 7 – мойын бөлігі; 8 – алдыңғы сирақтары; 9 – артқы сирақтары.

Сурет 3. ГОСТ 23219-78 бойынша бұзау ұшасын бөлшектеу сызбасы [18]

Әрбір жартылай ұшаны 9 негізгі жілікке бөлшектеу әдісі қолданылды, олар кейіннен сапалық сипаттамаларына қарай 3 тауарлық сұрыпқа жіктеледі. Бұзау ұшасының әрбір сұрпы өзіндік морфологиялық құрылымына байланысты нақты аспаздық мақсаттарға арналған. Жіліктердің сапалық категорияларына сәйкес мақсатты қолдану бағыттары мен технологиялық сипаттамалары 1-кестеде жүйеленіп көрсетілген.

Кесте 1

Бұзау ұшасының жіліктерін сұрпына қарай қолдану [19,20]

Белгілері 3-суретте	Жілік атауы	Сұрып	Жіліктің аспаздық қолданылу мақсаты
1	Жамбас сан бөлігі	I	Шницельдер мен кесектермен қуыру үшін
2	Белдеме	I	Котлеттер, эскалоптар үшін
3	Арқа бөлігі	I	Табиғи, кесілген, шницель, эскалоп котлеттері үшін
4	Жауырын	I	Сорпа, соус, қуыру үшін; ет-тартылған ет үшін
5	Иық асты бөлігі	I	Котлеттер, эскалоптар үшін
6	төстігі шап етімен бірге	II	Бұқтыруға, сорпаларға, кесектермен қуыруға арналған
7	Мойын	II	Сорпа, бұқтырылған ет үшін; целлюлоза-гуляш пен тартылған ет үшін
8	Алдыңғы сирақтары	III	Сорпа, желе үшін
9	Артқы сирақтары	III	Сорпа, желе үшін

Зерттеу шарттары мен әдістері. Бұзау ұшаларын жіліктеудің сараланған әдістемесін қалыптастыру мақсатында тәжірибелік-эксперименттік жұмыстар ЖК «Манашов А.А.» және «Meat processing and service» ЖШС өндірістік базасында жүзеге асырылды.

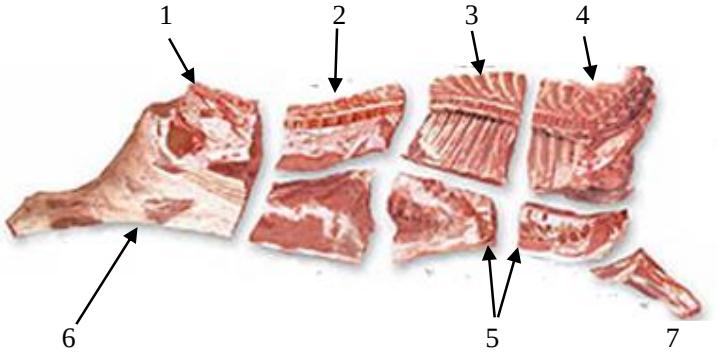
Ұшаның әртүрлі бөліктерінің тағамдық сипаттамаларын, биологиялық құндылығы мен аспаздық қасиеттерін қорытындылай келе, бұзау етін сүйекті (21 позиция) және сүйексіз (27 позиция) бөлшектерге саралаудың түбегейлі жаңа жүйесі әзірленді. Бұл жүйенің теориялық негізі ретінде БҰҰ ЕЭК халықаралық стандарттарындағы бұзау етін жіктеу принциптері алынды.

Ұшаны бөлшектеудің бірыңғай стандарттары мен атауларын қамтитын жаңа ҚР СТ жобасын дайындау – өнімді өнеркәсіптік деңгейде де, бөлшек саудада да ұтымды пайдалануға жол ашады. Мұндай тәсіл тұтынушылық сұранысты қанағаттандырып қана қоймай, отандық ет нарығының индустриалды мәдениетін жаңа деңгейге көтеруге мүмкіндік береді.

Ғылыми жұмыс аясында қаңқаның морфологиялық құрылымы, химиялық құрамы (ылғал, май, ақуыз мөлшері) мен технологиялық параметрлеріне кешенді бағалау жүргізілді. Бұл зерттеулер өнімді қоғамдық тамақтандыру және өңдеу салаларында тиімді қолданудың басымдықтарын анықтауға бағытталған.

Бұзау етінің сапалық көрсеткіштері +4°С температурада салқындатылған ұшалардың алдыңғы және артқы бөліктерінен алынған 9 үлгі негізінде зерделенді. Өнімнің pH белсенді қышқылдығы ҚР СТ ИСО 2917 стандартына сәйкес, ал ақуыздың салмақ үлесі ГОСТ 25011-2017 сынау әдісі бойынша анықталды. [21-27].

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Бөлшектердің анатомиялық орналасуы мен атқаратын қызметтік жүктемесі олардың құрамы мен тағамдық қасиеттерінің қалыптасуына ықпал етеді. Сондықтан сүйексіз ет пен сүйек үлесінің арақатынасы бөлшектердің сапалық сипаттамасын кешенді түрде көрсетеді. Авторлар ұсынған бұзау ұшасын бөлшектеу сызбасы 4-суретте берілген.



1 – сан етімен қоса жамбас бөлігі; 2 – артқы қабырғасымен бірге белдеме бөлігі; 3 – алдыңғы қабырғасын қамтитын омыртқа бөлігі; 4 – иықтың бір бөлігін қоса алатын мойын және жауырын бөлігі; 5 – төменгі қабырғасымен бірге төстік бөлігі; 6 – артқы сирақтар; 7 – алдыңғы сирақтар.

Сурет 4. ҚР СТ ұсынылатын бұзау ұшасын бөлшектеу сызбасы

Осы 7 ірі жілікті 21 сүйекті және 27 сүйексіз бөлшектерге бөлінді. Әр бөлшек өзіндік кулинарлық-технологиялық қасиеттерге ие.

Зерттеу барысында ұсынылған жіліктеу сызбасына (4-сурет) сәйкес, бұзау ұшасының құрылымдық бөлінісі ірі қара малдың анатомиялық жіктелуіне ұқсас болғанымен, оның құрылымы әлдеқайда қарапайым әрі жинақы екендігі анықталды.

Жекелеген бөлшектердің химиялық сипаттамаларына жасалған талдау (2-кесте) бұзау етінің диеталық қасиеттерін растайды. Мәселен, ұша бөліктеріндегі ылғалдылық деңгейі 74,90-81,80% шегінде ауытқыса, май үлесінің төмендігі байқалады. Төстік бөлігінде май мөлшері 4,3%, ал ылғалдылық 75,0% деңгейінде тұрақтаған. Ең жоғары биологиялық құндылық жамбас-сан сегментінде тіркелді: мұнда ақуыз үлесі 23,25%-ға жетіп, майлылық көрсеткіші небәрі 2,79%-ды құрады.

Өнімнің сапалық сипаттамалары мен химиялық құрамы оның анатомиялық орналасуына және жануар тіршілігіндегі атқаратын функционалдық қызметіне тікелей тәуелді. Осыған байланысты, ұша бөлшектерінің құндылығын бағалауда жұмсақ ет пен сүйек тінінің өзара пропорциясы (арақатынасы) негізгі көрсеткіш ретінде алынды. Бұл параметр әрбір жіліктің технологиялық маңызын толық сипаттауға мүмкіндік береді.

Сүйексіз өнімдердің сапасын бағалауда жалпы ақуыздың сандық мөлшері мен дәнекер тіндік құрамдас бөліктердің арақатынасы стратегиялық маңызға ие (2-кесте). Бұл көрсеткіштер өнімнің сіңімділігі мен аспаздық өңдеуге жарамдылығын айқындайтын негізгі факторлар болып табылады.

Кесте 2

Бұзау ұшасының бөлшектерінің химиялық құрамы

№	Жілік атауы	Ылғал, % (M ± m)	Май, % (M ± m)	Жалпы ақуыз, % (M ± m)	ЭҚ, ккал (M ± m)
1	2	3	4	5	6
1	сан етімен қоса жамбас бөлігі	74,17 ± 0,3	2,79 ± 0,2	23,25 ± 0,78	110,11
2	артқы қабырғасымен бірге белдеме бөлігі	73,7 ± 0,5	3,88 ± 0,6	22,63 ± 0,2	121,3

2-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6
3	төстігі төменгі қабырғамен бірге	75,0 ± 0,6	4,3 ± 0,48	20,7 ± 0,41	98,01
4	алдыңғы қабырғасымен қоса бел омыртқаларынан тұратын дорсальді бөлік	74,8 ± 0,4	4,1 ± 0,08	20,5 ± 0,54	118,0
5	иықтың бір бөлігін қоса алатын мойын және жауырын бөлігі	74,0 ± 0,03	3,6 ± 0,57	21,00 ± 0,02	115,5
6	артқы сирақтары	81,8 ± 0,09	1,8 ± 0,61	15,15 ± 0,88	122,99
7	алдыңғы сирақтары	81,1 ± 0,62	1,4 ± 0,03	16,5 ± 0,12	102,20

Ет өнімдерінің тағамдық құндылығы ақуыздардың сапалық сипаттамасына, атап айтқанда, аминқышқылдарының теңгерімділігі мен ас қорыту жүйесіне сіңімділігіне тікелей байланысты.

Зерттеу барысында жалпы ақуыз мөлшерінің жіліктер арасында айтарлықтай ауытқуы (15,15-23,25%) тіркелді. Дәнекер тін ақуыздарының төмен үлесі шап аймағында, аяқ бөліктерінде, қабырға сегментінде, сондай-ақ жауырын мен төстіктің бұлшықет құрылымында байқалады. Ересек малмен салыстырғанда, бұзау етіндегі дәнекер тінінің аздығы оның биологиялық құндылығының жоғары екенін айғақтайды. Статистикалық мәліметтер бойынша, бірінші сұрыпты жіліктердің үлесі басым болып, жалпы массаның 71,2%-ын иеленсе, екінші сұрыпты кесінділер 17,3%-ды, ал үшінші сұрыпты өнімдер 12%-ды құрайды.

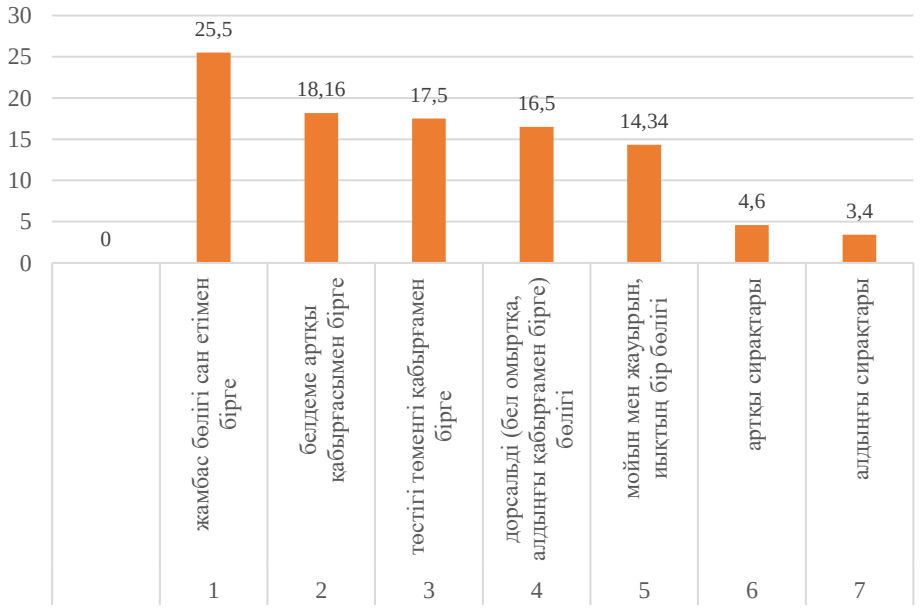
Еттің сапалық көрсеткіштері жануардың жасына қарай трансформацияланады. Мал есейген сайын бұлшықет тіні мен май қабаты (тері астылық және бұлшықет ішілік) ұлғайғанымен, еттің қаттылығы артып, ылғалдылығы төмендейді. Бұл өнімнің аспаздық өңдеуге жарамдылығын азайтады.

Химиялық құрамы мен нәрлілік деңгейіне қаңқадағы анатомиялық орналасуы да шешуші әсер етеді, өйткені әр жіліктегі негізгі тіндердің пропорциясы әртүрлі. Мәселен, дорсальді және бел бөліктеріндегі негізгі компоненттер (ақуыз, май, ылғал) алдыңғы ширектегі жауырын немесе төстік сегменттеріне жақын. Ал аяқтың төменгі бөліктері ақуыздың жоғары концентрациясымен және минималды май үлесімен сипатталады. Қаңқаның алдыңғы бөлігіндегі ақуыз мөлшері артқы ширекке қарағанда төмен болғанымен, аяқтың дистальді бөліктерімен салыстырғанда әлдеқайда жоғары екендігі анықталды.

Кесте 3

Бұзау ұшасының сүйексіз бөлшектерінің үлесі, %

№	Ұша бөліктерінің атауы	%
1	Жамбас бөлігі сан етімен бірге	25,5
2	Артқы қабырғасын қамтитын белдеме бөлігі	18,16
3	Төстігі төменгі қабырғамен бірге	17,5
4	Алдыңғы қабырғасымен қоса бел омыртқаларынан тұратын дорсальді бөлік	16,5
5	Мойын мен жауырын, иықтың бір бөлігі	14,34
6	Артқы сирақтары	4,6
7	Алдыңғы сирақтары	3,8



Сурет 5. Бұзау ұшасының оң жақ жарты ұшасының алдыңғы және артқы ширегінен алынған сүйексіз коммерциялық бөлшектерінің үлесі, %

Ұшаның сапалық деңгейін анықтауда химиялық көрсеткіштермен қатар, жұмсақ ет пен сүйектің өзара пропорциясын білдіретін «еттілік индексі» шешуші рөл атқарады.

Зерттеу барысында сүйексіз коммерциялық бөлшектердің ең жоғары үлесі жамбас сегментінде байқалды (5-сурет). Бұл бөлік сегізкөз бен артқы аяқтың негізгі бұлшықет топтарын біріктіреді. Оның физиологиялық белсенділігіне байланысты бұл аймақтың еті майсыз, бірақ құрылымы жағынан біршама тығыз келеді.

4-кестеде көрсетілген «еттілік индексінің» параметрлері бойынша жамбас-сан, мойын және жауырын жіліктері ең нәрлі әрі толық майлы бөліктер ретінде айқындалды. «Тапанша» типті кесу әдісінде артқы төрттіктің үлесі 76,60%-ды құрап, өнімнің жоғары сапасын көрсетті. Оның ішінде жамбас бөлігінің жұмсақ еті 24,37%, жауырын 10,30%, мойын 10,03%, төстік 9,40% және арқа-бел омыртқа сегменті 7,97% деңгейінде бөлінген.

Кесте 4

Бұзау ұшасының «еттілік индексі»

№	Ұша бөліктерінің атауы	Еттілік индексі
1	Жамбас бөлігі сан етімен бірге	6,30
2	Белдеме артқы қабырғасымен бірге	2,32
3	Төстігі төменгі қабырғамен бірге	3,20
4	Дорсальді (бел омыртқа, алдыңғы қабырғамен бірге) бөлігі	3,1
5	Мойын мен жауырын, иықтың бір бөлігі	5,39
6	Алдыңғы сирақтары	1,33
7	Артқы сирақтары	0,96

Зерттеу барысында есептелген «еттілік индексі» жамбас, мойын және жауырын бөліктерінің биологиялық және морфологиялық құндылығы ең

жоғары екенін көрсетті. Төртбұрышты кесу әдісіндегі артқы ширектің жалпы үлесі 76,60%-ды құрады. Оның ішінде жамбас еті (24,37%), жауырын (10,30%) және мойын (10,03%) бөліктері басымдыққа ие. Коммерциялық тұрғыдан жамбас сегменті ең үлкен көлемді иеленгенімен, оның физиологиялық қызметіне байланысты ет құрылымы біршама тығыз болуы мүмкін екендігі ескерілді.

Ақуыздың сапалық құрамын зерделеу барысында дәнекер тін мөлшерінің ересек ірі қара малға қарағанда едәуір төмен екендігі байқалды. Әсіресе, шап, аяқ және қабырға аймақтарындағы дәнекер тін ақуыздарының аздығы өнімнің диеталық қасиетін арттырады.

Морфологиялық құндылығы: сорттық құрамның таралуы анықталды: I сортты кесінділер ұшаның жалпы салмағының 71,2%, II сорт – 17,3%, III сорт – 12,0% құрайды. Бірінші дәрежелі ет жоғары өнімділігі бөлшек сауда үшін ұсынылған схеманың жоғары тиімділігін көрсетеді. Биологиялық тиімділігі: негізгі кесектер үшін жоғары «ет индексі» анықталды: жамбас (6,30) және жатыр мойны-скапула (5,39). Бұл бөліктердегі маңызды ақуыздардың мөлшері холестерин мен майдың минималды деңгейімен ең жоғары деңгейге жетеді (21,0-23,25%), бұл бұзаудың стратегиялық диеталық өнім ретіндегі мәртебесін растайды.

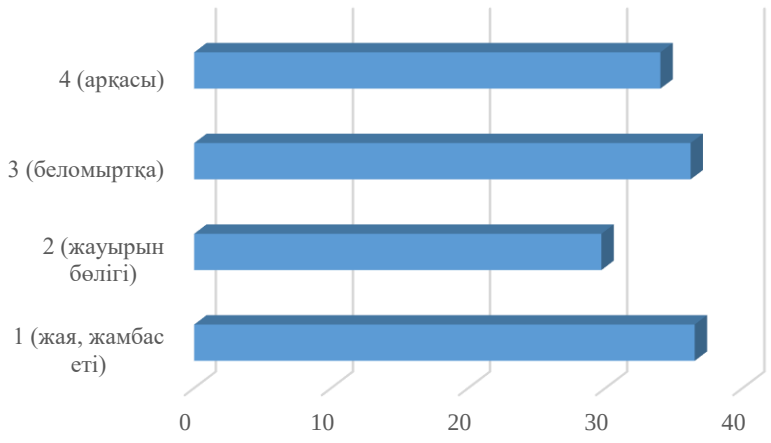
Бұзау ұшасының жекелеген жіліктеріне жүргізілген физикалық-химиялық талдау қорытындылары. Бұзау ұшасынан алынған негізгі төрт жіліктің тағамдық сипаттамалары мен биологиялық құндылығын сараптау мақсатында кешенді физикалық-химиялық сынақтар орындалды. Зерттеу барысында алынған нақты мәліметтер 5-кестеде жүйеленіп көрсетілген. Еттің сапалық деңгейін айқындайтын іргелі көрсеткіш – ақуыздың салмақтық үлесі классикалық Къелдаль әдістемесіне сүйене отырып есептелді. Бұл тәсіл әрбір анатомиялық бөліктің нәрлілік сипатын объективті бағалауға мүмкіндік берді.

Кесте 5

Бұзау ұшасының әртүрлі жіліктерінің физикалық-химиялық көрсеткіштерін зерттеу нәтижесі

№	Сынамалар	Көрсеткіш атау, өлшем бірлігі	НҚ нормасы	Нақты нәтижелер	Сынау әдістерінің НҚ
1	Жая, жамбас еті	Белсенді қышқылдық, pH	5,5-5,8	5,602	ИСО 2917-1999
		Жалпы ақуыздың салмақ үлесі, %	-	36,5	ГОСТ 25011-81
2	Жауырын бөлігі	Белсенді қышқылдық, pH	5,5-5,8	5,709	ИСО 2917-1999
		Жалпы ақуыздың салмақ үлесі, %	-	29,7	ГОСТ 25011-81
3	Беломыртқа	Белсенді қышқылдық, pH	5,5-5,8	5,514	ИСО 2917-1999
		Жалпы ақуыздың салмақ үлесі, %	-	36,2	ГОСТ 25011-81
4	Арқасы	Белсенді қышқылдық, pH	5,5-5,8	5,563	ИСО 2917-1999
		Жалпы ақуыздың салмақ үлесі, %	-	34	ГОСТ 25011-81

Ақуыз көрсеткіші бойынша тағамдық құндылығы жоғары бөлігі жамбас еті мен белдеме бөлігі анықталды, оны көрнекі түрде 6-суреттен көруге болады.



Сурет 6. Бұзау ұшасы жіліктерінің ақуыз мөлшері, %

«Бұзау ұшасы кесінділерінің химиялық құрамы» 2-кестенің деректері негізінде бұзау ұшасының әртүрлі анатомиялық бөліктерінің химиялық құрамына статистикалық және салыстырмалы талдау жүргізілді. Зерттеу өнімнің жоғары биологиялық құндылығын растайды: ақуыз профилі және сенімділігі: қаңқадағы жалпы ақуыздың мөлшері кең ауқымда өзгереді – артқы шұңқырдағы 15,15 ± 0,88%-дан жамбас кесіндісінде 23,25 ± 0,78%-ға дейін.

Жамбас кесіндісіндегі ақуыздың жоғары мөлшері статистикалық тұрғыдан басқа бөліктердің көрсеткіштерінен едәуір асып түседі ($p < 0,05$), бұл жануардың өміріндегі осы бұлшықет тобының функционалдық белсенділігімен байланысты.

Липидті құрамы (майлылығы): өнімдер өте төмен маймен сипатталады (1,4%-дан 4,3%-ға дейін). Липидтердің ең жоғары концентрациясы төс сүйегінде (4,3 ± 0,48%) тіркелген, бұл өліктің вентральды бөлігінде майдың физиологиялық сақталуымен түсіндіріледі. Ылғалдың жоғары деңгейімен (81,1-81,8%) біріктірілген ең аз май мөлшері (1,4-1,8%) өнімнің диеталық бағытын растайды.

Энергетикалық құндылығы (ЭҚ): ЭҚ таралуы 98,01-122,99 ккал құрайды. Айта кету керек, ең жоғары энергетикалық құндылық артқы бөлшекте (122,99 ккал) маймен емес, дәнекер тінінің ақуыздарының жоғары концентрациясымен бекітілген, бұл кесінді желе өнімдері мен сорпалы тағамдар үшін тамаша шикізат болады.

Қорытынды. ЖК «Манашов А.А.» және «Meat processing and service» ЖШС базасында бұзау ұшаларын 21 сүйекті және 27 сүйексіз кесуге бөлудің жаңа сараланған схемасы әзірленді және эксперименталды түрде сыналды. Жүргізілген кешенді зерттеулердің нәтижесінде бұзау етінің құрамындағы ылғал үлесі 74,90% бен 81,80% аралығын құрап, май мөлшерінің төмендігімен ерекшеленеді. Мәселен, төстік бөлігінде май үлесі 4,3%-ды құраса, жамбас-сан сегментінде ақуыз көрсеткіші ең жоғары деңгейге (23,25%) жетіп, майлылығы небәрі 2,79% деңгейінде тұрақтаған.

Өнімнің ветеринарлық-санитарлық қауіпсіздігіне жасалған талдаулар улы металдардың, антибиотиктер мен пестицид қалдықтарының жоқтығын растады. Сонымен қатар, радиологиялық және паразитологиялық бақылау барысында ешқандай патогендік элементтер (гельминттер, финноз немесе трихинеллалар) анықталған жоқ, бұл өнімнің экологиялық тазалығын айқындайды.

Бұзау ұшасын бөлшектеу БҰҰ ЕЭК халықаралық қағидаттарына негізделген, бұл қазақстандық өнімнің жаһандық нарықтармен (HoReCa, экспорт) үйлесімділігін қамтамасыз етеді. Зерттеу қорытындысы бойынша бұзау ұшасын жеті негізгі сауда жілігіне бөлудің оңтайлы сызбасы ұсынылады. Аталған жіліктеу жүйесі ет өңдеу өнеркәсібінде шикізатты ұтымды пайдалануға және өнімнің нарықтық құнын арттыруға мүмкіндік береді.

Экономикалық әлеует: ұлттық стандарттың әзірленген жобасын енгізу (ҚР СТ «Бұзау еті») отандық өндірушілерге ұшаларды/жартылай ұшаларды сатудан үлестік коммерциялық кесектерді сатуға көшуге мүмкіндік береді. Бұл өнімнің қосылған құнын 20-30% дейін ұлғайтуға және Парсы шығанағы, ҚХР және ЕО елдеріне экспортты табысты әртараптандыруға жағдай жасайды.

Ұсынылып отырған бұзау ұшасын бөлшектеудің жаңа сараланған әдістемесі өнімді өнеркәсіптік қайта өңдеу, қоғамдық тамақтандыру саласы мен бөлшек сауда желілерінде тиімді әрі мақсатты түрде қолдануға мүмкіндік береді.

Қазақстанның ішкі нарығы мен өндірістік ерекшеліктеріне бейімделіп әзірленген бұл жіліктеу сызбасы ұшаны сүйекті және сүйексіз бөліктерге рационалды ажыратуды көздейді. Бұл ғылыми негізделген тәсіл алдағы уақытта «Бұзау еті» атты ұлттық стандартты (ҚР СТ) дайындау мен енгізу процесінің негізгі концептуалды базасы ретінде пайдаланылатын болады

Әдебиеттер тізімі

1. Министерство сельского хозяйства Республики Казахстан. Казахстан наращивает экспорт переработанного мяса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.gov.kz/memleket/entities/moa/press/news/details/1031766?lang=ru.
2. Kapital.kz. В какие страны Казахстан поставляет мясо [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://kapital.kz/economic/128265/v-kakiye-strany-kazakhstan-postavlyayet-myaso.html.
3. Министерство сельского хозяйства Республики Казахстан. Пресс-релиз к проекту постановления Правительства Республики Казахстан «Об утверждении Комплексного плана мероприятий по развитию переработки сельскохозяйственной продукции и пищевой промышленности на 2024-2028 годы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.gov.kz/memleket/entities/moa/documents/details/591163?lang=ru.
4. Kinsman, D. Veal: Meat for Modern Menus. – Chicago, IL: National Live Stock and Meat Board Publ., 1989. – 108 p.
5. Specht S., Faustman C., Bendel R., Malkus L., Kinsman D., Sison C. Carcass composition of “bob” and “special-fed” veal and its prediction // Journal of Animal Science. – 1994. – Vol. 72. – P. 2635-2641. https://doi.org/10.2527/1994.72102635x.
6. Domaradzki P., Stanek P., Litwińczuk Z., Skałecki P., Florek M. Slaughter value and meat quality of suckler calves: A review // Meat Science. – 2017. – Vol. 134. – P. 135-149. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.07.026.

7. Beauchemin K.A., Lachance B., St.-Laurent G. Effects of concentrate diets on performance and carcass characteristics of grain-fed veal calves // J. Anim. Sci. – 1990. – Vol. 68. – P. 35.
8. Mojto J. et al. Effect of age at slaughter on quality of carcass and meat in cows // Slovak Journal of Animal Science. – 2009. – Vol. 42. – No. 1. – P. 34-37.
9. Maciel R.P. Performance, rumen development, and carcass traits of male calves fed starter concentrate with crude glycerin // R. Bras. Zootec. – 2016. – Vol. 45(6). – P. 309-318. https://doi.org/10.1590/S1806-92902016000600005.
10. Holubenko T.L. Nutritional value of veal used in baby food production // Ukrainian Journal of Ecology. – 2018. – Vol. 8(1). – P. 637-643. https://doi.org/10.15421/2017_260.
11. Beef Cattle and Calves Standards / USDA. – 2010.
12. United States Standards for Grades of Veal and Calf Carcasses. Effective date October 6, 1980.
13. Institutional Meat Purchase Specifications: Fresh Veal Series 300. Effective: November 2014
14. U.S. Department of Agriculture Food Safety and Inspection Service. Veal from farm to table. 2006. [Electronic resource]. Access mode: www.fsis.usda.gov/Fact_Sheets/Veal_from_Farm_to_Table/index.asp.
15. Stull C.L., McDonough S.P. Multidisciplinary approach to evaluating welfare of veal calves in commercial facilities // Journal of Animal Science. – 1994. – Vol. 72(9). – P. 2518-2524.
16. Costello R. Merrick's Calf Milk Replacer Guide. 2006. [Electronic resource]. Access mode: www.merricks.com/pdf/milk_replacer_guide.pdf.
17. Veal cut chart. [Electronic resource]. Access mode: https://www.globalmeats.co/wp-content/uploads/2016/09/veal-cut-chart.jpg.
18. ГОСТ 779-87. Мясо-говядина и телятина. Технические условия [Текст]. – Введ. 01.01.1991. – М.: Стандартинформ, 1987.
19. ГОСТ Р 54520-2011. Мясо. Разделка телятины на отрубы. Технические условия [Текст]. – Введ. 01.01.2013. – М.: Стандартинформ, 2012. – 17 с.
20. ГОСТ 23219-78. Мясо. Разделка телятины для розничной торговли [Текст]. – Введ. 01.01.1980. – М.: Стандартинформ, 1978.
21. Сарбатова, Н.Ю. Стандартизация и экспертиза мяса и мясных продуктов (часть 1) [Текст]: метод. указания к выполнению лабораторных работ / Н.Ю. Сарбатова, Н.Н. Забашта, А.А. Нестеренко. – Краснодар: КубГАУ, 2019. – 32 с.
22. Позняковский, В.М. Экспертиза мяса и мясопродуктов. Качество и безопасность [Текст]: учебно-справочное пособие. 4-е изд., испр. и доп. / В.М. Позняковский. – Новосибирск: Сиб. ун-т Изд-во, 2007. – 528 с.
23. ГОСТ 7269-2015. Мясо. Методы отбора образцов и органолептические методы определения свежести [Текст]. – Введ. 01.01.2017. – М.: Стандартинформ, 2016. – 12 с.
24. ГОСТ 23392-78. Мясо. Методы химического и микроскопического анализа свежести мяса [Текст]. – Введ. 01.01.1980. – М.: Стандартинформ, 2006. – 5 с.
25. ГОСТ Р 51478-99. Мясо и мясные продукты. Контрольный метод определения концентрации водородных ионов (pH) [Текст]. – Введ. 01.01.2001. – М.: Стандартинформ, 2010. – 4 с.
26. Царегородцева, Е.В. Технология хранения, переработки и стандартизация мяса и мясопродуктов [Текст]: учебное пособие для вузов / Е.В. Царегородцева. – М.: Юрайт, 2020. – 290 с.
27. Янова, М.А. Стандартизация и сертификация мяса и мясных продуктов [Текст]: методические указания к практическим занятиям / М.А. Янова. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2020. – 51 с.

Материал редакцияға 23.01.26 түсті, 20.03.26 қабылданды.

Ж.Ж. Жамекова[1], У. Чоманов[2], Ж.А. Искакова[1], Н.К. Акишев[3]

[1]Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан
[2]Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности, Алматы, Казахстан
[3]Назарбаевский университет, Астана, Казахстан

СТАНДАРТИЗАЦИЯ СХЕМЫ РАЗДЕЛКИ И КЛАССИФИКАЦИИ ТЕЛЯТИНЫ

Аннотация. Телятина широко ценится потребителями за свою пищевую ценность. Телятину обычно получают от молодняка (неполовозрелого) крупного рогатого скота в возрасте до 8 месяцев и не старше 12 месяцев. Классификация телят и характеристики разделки регулируются на европейском рынке гораздо лучше, чем системы кормления и характеристики мяса. Однако в Казахстане не существует утвержденной схемы классификации туш телят и разделки их на товарные части. В исследовании рассмотрена возможность использования новой дифференцированной схемы телятины для промышленной переработки, общественного питания и реализации через торговую сеть. Схема разделения телятины на кости и бескостные части, разработанная применительно к условиям Казахстана, будет положена в основу разработки государственного стандарта «Телятина» СТ РК. Выявлены различия по общему белковому составу в разных частях тушки теленка (15,15-23,25%) (P ≥ 0,5), небольшое количество соединительнотканных белков расположено в паху, задних и передних конечностях, реберных и лопаточных мышцах, передней и задней части грудной клетки. В результате исследования рекомендовано разделывать туши телят на эффективные куски для внешней торговли.

Ключевые слова: телятина, молочная телятина, боб телятина, туша, схема разделки, части туши, химический состав мяса, стандартизация, показатель мясистости.

Zh. Zhamekova[1], U. Chomanov[2], Zh. Iskakova[1], N. Akishev[3]

[1]Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan
[2]Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry, Almaty, Kazakhstan
[3]Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan

STANDARDIZATION CUTTING SCHEME AND GRADING OF VEAL

Abstract. Veal is widely appreciated by consumers for its nutritional value. Veal is usually obtained from young (immature) cattle under 8 months of age and not older than 12 months. Calf classification and cutting characteristics are much better regulated in the European market than feeding systems and meat characteristics. However, in Kazakhstan there is no approved scheme for classification of calf carcasses and cutting into marketable parts. The study considers the possibility of using a new differentiated scheme of veal for industrial processing, public catering and realization through the trade network. The scheme of veal division into bone and boneless parts, developed in relation to the conditions of Kazakhstan, will be used as a basis for the development of the state standard “Veal” ST RK. Differences in total protein composition in different parts of the calf carcass (15.15-23.25%) (P ≥ 0.5) were revealed, a small amount of connective tissue proteins are located in the groin, hind and fore limbs, rib and scapular muscles, anterior and posterior part of the thorax. As a result of the study, it is recommended that calf carcasses should be cut into effective pieces for foreign trade.

Keywords: veal, milk veal, veal bean, carcass, cutting scheme, carcass parts, chemical composition of meat, standardization, fleshiness index.

References

1. Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan. Kazakhstan increases export of processed meat [Electronic resource]. – Access mode:https://www.gov.kz/memleket/entities/moa/press/news/details/1031766?lang=ru.
2. Kapital.kz. Which countries does Kazakhstan supply meat to [Electronic resource]. – Access mode: https://kapital.kz/economic/128265/v-kakiye-strany-kazakhstan-postavlyayet-myaso.html.
3. Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan. Press release for the draft resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan "On approval of the Comprehensive plan for the development of agricultural processing and food industry for 2024–2028" [Electronic resource]. – Access mode: https://www.gov.kz/memleket/entities/moa/documents/details/591163?lang=ru.
4. Kinsman, D. Veal: Meat for Modern Menus. – Chicago, IL: National Live Stock and Meat Board Publ., 1989. – 108 p.
5. Specht S., Faustman C., Bendel R., Malkus L., Kinsman D., Sison C. Carcass composition of "bob" and "special-fed" veal and its prediction // Journal of Animal Science. – 1994. – Vol. 72. – P. 2635-2641. https://doi.org/10.2527/1994.72102635x.
6. Domaradzki P., Stanek P., Litwińczuk Z., Skałecki P., Florek M. Slaughter value and meat quality of suckler calves: A review // Meat Science. – 2017. – Vol. 134. – P. 135-149. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.07.026.
7. Beauchemin K.A., Lachance B., St.-Laurent G. Effects of concentrate diets on performance and carcass characteristics of grain-fed veal calves // J. Anim. Sci. – 1990. – Vol. 68. – P. 35.
8. Mojto J. et al. Effect of age at slaughter on quality of carcass and meat in cows // Slovak Journal of Animal Science. – 2009. – Vol. 42. – No. 1. – P. 34-37.
9. Maciel R.P. Performance, rumen development, and carcass traits of male calves fed starter concentrate with crude glycerin // R. Bras. Zootec. – 2016. – Vol. 45(6). – P. 309-318. https://doi.org/10.1590/S1806-92902016000600005.
10. Holubenko T.L. Nutritional value of veal used in baby food production // Ukrainian Journal of Ecology. – 2018. – Vol. 8(1). – P. 637-643. https://doi.org/10.15421/2017_260.
11. Beef Cattle and Calves Standards / USDA. – 2010.
12. United States Standards for Grades of Veal and Calf Carcasses. Effective date October 6, 1980.
13. Institutional Meat Purchase Specifications: Fresh Veal Series 300. Effective: November 2014
14. U.S. Department of Agriculture Food Safety and Inspection Service. Veal from farm to table. 2006. [Electronic resource]. Access mode: www.fsis.usda.gov/Fact_Sheets/Veal_from_Farm_to_Table/index.asp.
15. Stull C.L., McDonough S.P. Multidisciplinary approach to evaluating welfare of veal calves in commercial facilities // Journal of Animal Science. – 1994. – Vol. 72(9). – P. 2518-2524.
16. Costello R. Merrick's Calf Milk Replacer Guide. 2006. [Electronic resource]. Access mode: www.merricks.com/pdf/milk_replacer_guide.pdf.
17. Veal cut chart. [Electronic resource]. Access mode: https://www.globalmeats.co/wp-content/uploads/2016/09/veal-cut-chart.jpg.
18. GOST 779-87. Myaso-govyadina i telyatina. Tekhnicheskie usloviya [Meat – Beef and Veal. Technical specifications]. – Introduced. 01.01.1991. – Moscow: Standartinform, 1987. [in Russian].

19. GOST R 54520-2011. Myaso. Razdelka telyatiny na otruby. Tekhnicheskie usloviya [Meat. Veal cutting into carcass parts. Technical specifications]. – Introduced. 01.01.2013. – Moscow: Standartinform, 2012. – 17 p. [in Russian].
20. GOST 23219-78. Myaso. Razdelka telyatiny dlya roznichnoy torgovli [Meat. Veal cutting for retail trade]. – Introduced. 01.01.1980. – Moscow: Standartinform, 1978. [in Russian].
21. Sarbatova, N.Yu., Zabashcha, N.N., Nesterenko, A.A. Standartizatsiya i ekspertiza myasa i myasnykh produktov (chast' 1) [Standardization and expertise of meat and meat products (part 1)]: methodological instructions for laboratory work. – Krasnodar: KubGAU, 2019. – 32 p. [in Russian].
22. Poznyakovskiy V.M. Ekspertiza myasa i myasnykh produktov. Kachestvo i bezopasnost' [Expertise of meat and meat products. Quality and safety]: educational reference guide. 4th ed., corrected and supplemented. – Novosibirsk: Sib. Univ. Press, 2007. – 528 p. [in Russian].
23. GOST 7269-2015. Myaso. Metody otbora obraztsov i organolepticheskiye metody opredeleniya svezhesti [Meat. Methods of sample selection and organoleptic methods for freshness determination]. – Introduced. 01.01.2017. – Moscow: Standartinform, 2016. – 12 p. [in Russian].
24. GOST 23392-78. Myaso. Metody khimicheskogo i mikroskopicheskogo analiza svezhesti myasa [Meat. Methods of chemical and microscopic analysis of meat freshness]. – Introduced. 01.01.1980. – Moscow: Standartinform, 2006. – 5 p. [in Russian].
25. GOST R 51478-99. Myaso i myasnyye produkty. Kontrol'nyy metod opredeleniya kontsentratsii vodorodnykh ionov (pH) [Meat and meat products. Control method for determination of hydrogen ion concentration (pH)]. – Introduced. 01.01.2001. – Moscow: Standartinform, 2010. – 4 p. [in Russian].
26. Tsaregorodtseva E.V. Tekhnologiya khraneniya, pererabotki i standartizatsiya myasa i myasnykh produktov [Technology of storage, processing and standardization of meat and meat products]: textbook for universities. – Moscow: Yurayt, 2020. – 290 p. [in Russian].
27. Yanova M.A. Standartizatsiya i sertifikatsiya myasa i myasnykh produktov [Standardization and certification of meat and meat products]: methodological instructions for practical classes. – Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University, 2020. – 51 p. [in Russian].

ҒТАМР 65.09.03

А.Б. Мынбаева[1] – *негізгі автор*,
Ж.М. Баянбаева[2], А.К. Садибаев[3],
П.М. Маликтаева[4], А.Т. Онлабекова[5]

[1,4]Техн. ғылым. канд., қауымдас. профессор, [2]Магистрант,
[3]Техн. ғылым. канд., [5]PhD

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0002-3799-2686 [2]https://orcid.org/0009-0004-6875-4463*
[3]https://orcid.org/0000-0003-0427-3025 [4]https://orcid.org/0000-0002-1251-811X
[5]https://orcid.org/0000-0003-4379-0586

[1,2,3,5]М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан

[4]Ш. Мұртаза атындағы Халықаралық Тараз университеті, Тараз, Казақстан

@ *[1]minaiber@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/MYPP3979

«ТАЛҚАН-ҮЛПЕК» СМУЗИ РЕЦЕПТУРАСЫН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Аңдатпа. Ұсынылып отырған мақалада пісіруді қажет етпейтін үш дәнді үлпектерден алынған «Талқан-үлпек» талқаны негізінде сүтқышқылды және сүтті смузилардың рецептурасын жасау бойынша ғылыми жұмыстың нәтижелері келтірілген және дайындау барысында органолептикалық көрсеткіштерге ерекше назар аударылды, ал компоненттерді таңдау асқабақтың жұмсағынан алынған ұнды пайдаланып, смузидің функционалдық бағытына қарай айқындалды. «Талқан-үлпек» сүтқышқылды және сүтті смузилардың рецептурасын оңтайландыру мақсатында Шеффенің симплекс-торлы жоспарының көмегімен олардың органолептикалық бағалауы жүргізілді. Мәселені шешу нәтижесінде сүтқышқылды «Талқан-үлпек» смузиі таңдалды және құрамында 11,8% «Талқан-үлпек» талқаны және 6,6% асқабақ жұмсағынан жасалған ұнды қолданған кезде жоғары органолептикалық көрсеткіштерге ие смузи алуға мүмкіндік беретін қоспаның рецептурасы анықталды.

Тірек сөздер: смузи, талқан, асқабақтың жұмсағынан алынған ұн, рецептура, органолептикалық көрсеткіштер, регрессиялық теңдеулер.

Мынбаева, А.Б. «Талқан-үлпек» смузи рецептурасын оңтайландыру [Мәтін] / А.Б. Мынбаева, Ж.М. Баянбаева, А.К. Садибаев, П.М. Маликтаева, А.Т. Онлабекова // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.111-118. https://doi.org/10.55956/MYPP3979

Кіріспе. Қазіргі таңда өмір сүру салты мен тамақтану адамның денсаулығын, оның жұмысқа қабілеттілігін, сыртқы әсерлерден болатын қолайсыз жағдайлардың барлық түрлеріне қарсы тұру қабілетін анықтайтын маңызды факторлар болып табылады, бұл адамның өмір сүру ұзақтығы мен сапасын анықтайды. Адамның ұзақ және сапалы өмір сүруіне қажетті дұрыс тамақтану міндеттерін іске асыруды қамтамасыз ететін өнімдердің ерекше тобына функционалдық мақсаттағы өнімдер жатады.

Соған сәйкес соңғы жылдары сусындардың жаңа түрлерін өндіру өнеркәсібінде жаңа өнімдерді өңдеп дайындау үрдісі байқалуда, солардың бірі – смузи болып саналады. Смузи – бұл қоюлау қоректік масса, оны алу

кезінде бастапқы ингредиенттердің дәрумендері мен талшықтарын барынша сақтауға қол жеткізіледі.

Смузи құрамындағы байыту өнімдерін таңдаудағы тағы бір негізгі фактор оны дайындау термиялық өңдеуді қажететпейтіндігінде болды, себебі термиялық өңдеу кезінде өнімдердегі биологиялық белсенді заттардың мөлшері кемиді.

Смузи иммундық жүйені нығайтуға көмектесетін маңызды энергия көзі болып табылады. Бұл сусынның құрамындағы талшықтар ас қорытуға оң әсер ететіндігі байқалды. Сондай-ақ, смузиді қолданудың басты артықшылығыадам ағзасынан улы қалдықтарды шығаруды қамтиды. Сонымен қатар, смузи салмақтан арылуға және жалпы денсаулықты нығайтуға ықпал етеді [1].

Зерттеу шарттары мен әдістері. Жүргізілген зерттеулерде шикізат пен дайын өнімді талдаудың стандартты органолептикалық әдістері қолданылды.

«Талқан-үлпек» талқаны негізінде сүтқышқылды смузиі мен сүтті смузиінің органолептикалық көрсеткіштерін бағалауды сараптау тобы келесі көрсеткіштер бойынша жүргізді: сыртқы түрі мен консистенциясы, дәмі мен иісі. Жоғарыда аталған смузи үлгілерін органолептикалық бағалау 10 балдық шкала бойынша математикалық өңдеу әдісімен жүргізілді және органолептикалық көрсеткіштердің сызбасы ұсынылды.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Зерттелген жұмыстың негізгі міндеттерінің бірі функционалды сусынның – жоғары сапалы смузидің рецептурасы жасау мен органолептикалық көрсеткіштерін анықтау болды.

Смузидің негізі ретінде пісіруді қажет етпейтін үш дәнді үлпектерінен алынған «Талқан-үлпек» талқаны қолданылды. Бұған дейін жасалған «Талқан-үлпек» талқан рецептурасының құрамына: пісіруді қажет етпейтін полтавалық бидай үлпектері – 60% және пісіруді қажет етпейтін тары үлпектері – 20% («Алтайская сказка»), сондай-ақ пісіруді қажет етпейтін жүгері үлпектері – 20% («Гудвилл») кіреді. 100 г «Талқан-үлпек» құрамындағы ақуыз – 13,2 г, майлар – 1,54 г, көмірсулар – 65,56 г, энергетикалық құндылығы – 330 ккал [2].

Смузиді функционалды сусын ретінде пайдалану үшін асқабақтың жұмсағынан алынған ұн («Матильда» сұрыпы, Ресей) қолданылды. Асқабақ ұнтағы – қоректік заттарға, дәрумендерге, микроэлементтерге бай ересектер мен балаларға арналған пайдалы тағам, адам денсаулығына оң әсер етеді. Асқабақ жұмсағынан алынған ұн тек асқабақ жұмсағынан жасалған, табиғи асқабаққа тән ерекше иісі мен дәмі бар. Тұрақты тамақтану глютенсіз диетаны оңтайландыру үшін өте пайдалы. Ұнтақ құрамында маңызды аминқышқылдары, ақуыздар – 1,8 г, көмірсулар – 8,4 г, энергетикалық құндылығы – 41 ккал, талшықтар – 10%, А, С, К дәрумендері бар, глютенсіз. [3].

Асқабақ жұмсағынан алынған ұн бірегей құрамына ие. Оның құрамында А, С, РР, К дәрумендері мен В тобының дәрумендері жеткілікті, сонымен қатар омега - 3 және омега - 6 май қышқылдарына бай. Сондай-ақ асқабақ ұнтағында ағзаға жеңіл сіңетін өсімдік ақуызы мен маңызды аминқышқылдарының мөлшері өте көп [4].

Смузи дайындау үшін блендерге «Талқан-үлпек» талқаны салынды, содан кейін асқабақ жұмсағынан алынған ұн мен айран (сүт) қосылды, қоспа 5 минутқа қойылды, әрі қарай бәрі араластырылып, смузи алынды.

Зерттеудің негізі органолептикалық бағалау болып табылады, өйткені ол смузиге тұтынушылардың қалауын қалыптастырады, сондықтан смузи

рецептураларын органолептикалық көрсеткіштер бойынша математикалық модельдеу жүргізілді. Зерттеу барысында смузи рецептурасының 2 нұсқасы – сүтқышқылды «Талқан-үлпек» және сүтті «Талқан-үлпек» ұсынылды.

Тамақ өнімдерінің құрамын оңтайландыру есептерін шешуде қолданылатын тиімді әдістердің бірі – Шеффенің симплекс-торлы жоспары. Бұл әдіс қоспа жүйелерін зерттеуде кеңінен қолданылады және тәжірибелік нүктелерді ұтымды таңдаудың арқасында кездейсоқ қателіктердің әсерін едәуір төмендетуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, симплекс-торлы жоспарды қолдану алынған нәтижелердің сенімділігін арттырып, зерттелетін функционалдық тәуелділіктің экстремал мәндері орналасқан аймақтарды анықтауға жағдай жасайды [5].

Үш компонентті өнімдер үшін тәуелділік дұрыс үшбұрыш координаталарында бейнеленеді. Үшбұрыштың төбелері таза компоненттерге, ал қабырғалары екі компонентті қоспаларға сәйкес келеді. Үшбұрыштың ішкі аймағы қоспадағы компоненттердің барлық мүмкін болатын арақатынастарын сипаттайды. Үшбұрыштың қабырғалары мен ішкі бөлігінде қоспа құрамындағы компоненттердің массалық немесе нольдік үлестерін сипаттайтын x_1, x_2 және x_3 шамалары белгіленеді.

Симплекс-торлы жоспарды қолданудың міндетті шарты қоспа құрамына қойылатын келесі шектеумен анықталады:

$$x_1 + x_2 + x_3 = 1, \quad (1)$$

Бұл компоненттердің үлестерін нормалауды қамтамасыз етеді және зерттелетін жүйенің тұйық сипатын көрсетеді. Аталған тәсілді іске асыру құрамның зерттелетін қасиетке әсерін сипаттайтын адекватты математикалық модель құруға, сондай-ақ берілген технологиялық немесе функционалдық сипаттамаларға қол жеткізу үшін компоненттердің оңтайлы арақатынасын анықтауға мүмкіндік береді.

Үш компонентті қоспаның құрамын анықтау үшін толық үшінші ретті үш параметрлі Шеффе жоспары қабылданды және регрессия теңдеуі келесі түрде өрнектеледі:

$$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + c_{12} x_1 x_2 (x_1 - x_2) + c_{13} x_1 x_3 (x_1 - x_3) + + c_{23} x_2 x_3 (x_2 - x_3) + \beta_{123} x_1 x_2 x_3 \quad (2)$$

мұнда коэффициенттер келесі теңдеулермен анықталады:

$$\beta_1 = y_1; \beta_2 = y_2; \beta_3 = y_3 \quad (3)$$

$$\beta_{12} = \frac{9}{4}(y_4 + y_5 - y_1 - y_2);\ \beta_{13} = \frac{9}{4}(y_6 + y_7 - y_1 - y_3);\ \beta_{23} = \frac{9}{4}(y_8 + y_9 - y_2 - y_3) \quad (4)$$

$$c_{12} = \frac{9}{4}(3y_4 - 3y_5 - y_1 + y_2);\ c_{13} = \frac{9}{4}(3y_6 - 3y_7 - y_1 + y_3);\ c_{23} = \frac{9}{4}(3y_8 - 3y_9 - y_2 + y_3) \quad (5)$$

$$\beta_{123} = 27y_{10} - \frac{27}{4}(y_5 + y_6 + y_7 + y_8 + y_9) + \frac{9}{2}(y_1 + y_2 + y_3) \quad (6)$$

«Талқан-үлпек» сүтқышқылды және сүтті смузилардың рецептурасының факторлары және оның деңгейлері 1-ші және 2-ші

кестелерде, ал жоспарлау матрицасы және эксперимент нәтижелері 3-кестеде берілген.

Кесте 1

«Талқан-үлпек» сүтқышқылды смузи рецептурасының факторлары және оның деңгейлері

Шикізаттар	Факторлар деңгейлері					
	X_{min}	X_{max}	0	1/3	2/3	1
Айран	80	85	80	81,67	83,33	85
«Талқан-үлпек» талқаны	10	15	10	11,67	13,33	15
Асқабақ жұмсағынан алынған ұн	5	10	5	6,67	8,33	10

Кесте 2

«Талқан-үлпек» сүтті смузи рецептурасының факторлары және оның деңгейлері

Шикізаттар	Факторлар деңгейлері					
	X_{min}	X_{max}	0	1/3	2/3	1
Сүт	80	85	80	81,67	83,33	85
«Талқан-үлпек» талқаны	10	15	10	11,67	13,33	15
Асқабақ жұмсағынан алынған ұн	5	10	5	6,67	8,33	10

Кесте 3

Жоспарлау матрицасы және эксперимент нәтижелері

Фактор	Симплекс-жоспардағы нүктенің номері									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x_1	1	0	0	2/3	1/3	0	0	2/3	1/3	1/3
x_2	0	1	0	1/3	2/3	2/3	1/3	0	0	1/3
x_3	0	0	1	0	0	1/3	2/3	1/3	2/3	1/3
y_1	7,8	7,6	7,3	8,6	8,4	8,4	8,1	8,3	8,4	9,8
y_2	7,9	7,5	6,6	8,4	8,1	8,1	7,5	7,7	7,2	9,1

Эксперименттік мәндерді өңдеу нәтижесінде келесі математикалық үлгілер құрастырылды:

«Талқан-үлпек» сүтқышқылды смузиінің рецептурасы үшін:

$$y_1 = 7{,}8x_1 + 7{,}6x_2 + 7{,}3x_3 + 3{,}6x_1x_2 + 3{,}15x_1x_3 + 4{,}05x_2x_3 + 0{,}9x_1x_2(x_1 - x_2) + 0{,}9x_1x_3(x_1 - x_3) - 1{,}35x_2x_3(x_2 - x_3) + 27{,}9x_1x_2x_3 \quad (7)$$

«Талқан-үлпек» сүтті смузиінің рецептурасы үшін:

$$y_2 = 7{,}9x_1 + 7{,}5x_2 + 6{,}6x_3 + 2{,}475x_1x_2 + 2{,}475x_1x_3 + 1{,}8x_2x_3 + 1{,}125x_1x_2(x_1 - x_2) + 1{,}125x_1x_3(x_1 - x_3) + 1{,}35x_2x_3(x_2 - x_3) + 27{,}45x_1x_2x_3 \quad (8)$$

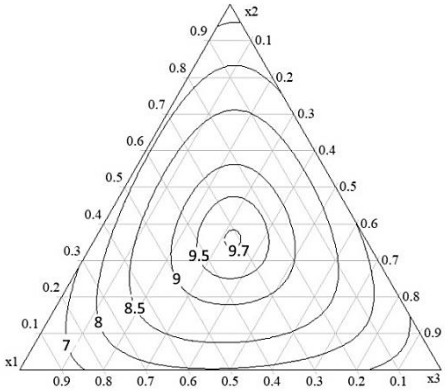
Математикалық үлгілердің графикалық бейнесін Triangle бағдарламасының көмегімен тұрғыздық.

Сызбаларды талдау және математикалық үлгідерді сандық әдістермен оптималдау нәтижесінде органолептикалық көрсеткіштердің ең жоғарғы мәніне сәйкес рецептуралық компоненттердің мөлшері анықталды.

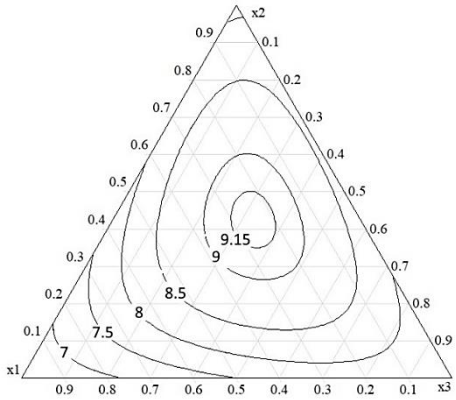
«Талқан-үлпек» сүтқышқылды смузиінің рецептурасы үшін органолептикалық көрсеткіштердің ең жоғарғы мәні $y_1^{max} = 9{,}8$

рецептуралық компоненттердің кодтық мәндерінде x_1 = 0,359, x_2 = 0,327,x_3 = 0,314 тең болды. Рецептуралық компоненттердің натуралды мәндерінде айран – 81,8 г, «Талқан-үлпек» талқаны – 11,6 г және асқабақ жұмсағынан алынған ұн – 6,6 г тең.

«Талқан-үлпек» сүтті смузиінің рецептурасы үшін рецептуралық компоненттердің x_1 = 0,424, x_2 = 0,327, x_3 = 0,249 тең кодтық мәндерінде органолептикалық көрсеткіштер ең жоғарғы мәніне $y_2^{max} = 9{,}2$ тең болды. Рецептуралық компоненттердің мөлшері сүт – 82,1 г, «Талқан-үлпек» талқаны – 11,6 г және асқабақ жұмсағынан алынған ұн – 6,2 г тең екендігі анықталды.



Сурет 1. «Талқан-үлпек» сүтқышқылды смузиінің органолептикалық көрсеткіштерінің ингредиенттер мөлшеріне тәуелділігі



Сурет 2. «Талқан-үлпек» сүтті смузиінің органолептикалық көрсеткіштерінің ингредиенттер мөлшеріне тәуелділігі

Сүтқышқылды «Талқан-үлпек» және сүтті «Талқан-үлпек» смузилерінің органолептикалық көрсеткіштері 4-ші және 5-ші кестелерде келтірілді.

Кесте 4

Сүтқышқылды «Талқан-үлпек» смузиінің органолептикалық көрсеткіштері

№	Көрсеткішттердің атауы	Сипаттамасы
1	Сыртқы түрі мен консистенциясы	біркелкі тартылған талқан мен асқабақ ұнының майда, ұсақ ұнтақталған бөлшектері бар біртекті сұйық сусын
2	Дәмі мен иісі	табиғи, айқын, шикізаттарға тән-талқан, асқабақ ұны және айран

Кесте 5

Сүтті «Талқан-үлпек» смузиінің органолептикалық көрсеткіштері

№	Көрсеткіштердің атауы	Сипаттамасы
1	Сыртқы түрі мен консистенциясы	талқанның ұсақ бөлшектері мен асқабақ ұны біркелкі таратылмаған, талқанның бір бөлігі түбіне тұнған гетерогенді сусын
2	Дәмі мен иісі	дәмі үйлесімсіз, талкан мен асқабақ ұнының бөлшектері сезіледі, иісі табиғи, шикізат компоненттеріне сәйкес келеді

Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде, «Талқан-үлпек» талқаны мен асқабақ жұмсағынан алынған ұн сүтпен толық үйлеспейтіндігі анықталды, бірақ айранмен қосылғанда өте нәзік және қою смузи алынады деген қорытынды жасауға болады.

Қорытынды. Эксперимент барысында Шеффенің симплекс-торлы жоспарының көмегімен асқабақ жұмсағынан жасалған ұнды пайдаланып, «Талқан-үлпек» талқаны негізіндегі сүтқышқылды смузи және сүтті смузиінің тәжірибелік үлгілерінің органолептикалық көрсеткіштері бойынша (сыртқы түрі мен консистенциясы, дәмі мен иісі) рецептураның оңтайлы нұсқасы алынды. Алынған үлгілердің айрықша ерекшеліктері әр түрлі дәмдерінде (сүттіден сүтқышқылдыға дейін) және консистенцияларында (сұйық түрден қою түрге дейін) болды. Органолептикалық бағалау нәтижесінде «Талқан-үлпек» сүтқышқылды және сүтті смузилердің рецептурасы жасалды, олардың өз құрамында барлық құнды компоненттерді, сондай-ақ сусынның өзіндік дәмі мен текстуралық сипаттамаларын сақтады.

Әдебиеттер тізімі

1. Попова, Е.И. Технология производства смузи для здорового питания [Текст] / Е.И. Попова, К.В. Брыксина, В.Ю. Утешев [и др.] // Технологии и продукты здорового питания: сборник статей XII Национальной научно-практической конференции с международным участием. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2021. – С. 568-571.
2. Мынбаева, А.Б. «Талқан-үлпек» ұлттық өнімінің рецептурасын оңтайландыру [Мәтін] / А.Б. Мынбаева, А.К. Садибаев, П.М. Маликтаева, А.С. Умирбекова // Механика және технологиялар. – 2025. – № 2. – С. 121-127.
3. Тыква сушеная молотая Матильда [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.wildberries.kg/catalog/78287388/detail.aspx.
4. Егорова, С.В. Особенности конструирования рецепта смузи на основе конопляной муки [Текст] / С.В. Егорова, М.М. Ахматзиаева // Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений: сборник статей VIII Международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию технологического факультета ВГУИТ. – 2019. – С. 352-358.

5. Ахназарова, С.Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии [Текст] / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров. – М.: Высшая школа, 1985. – 319 с.

Материал редакцияға 07.01.25 түсті, 19.03.26 қабылданды.

А.Б. Мынбаева[1], Ж.М. Баянбаева[1],
А.К. Садибаев[1], П.М. Маликтаева[2], А.Т. Онлабекова[1]

[1]Таразский университет им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан
[2]Международный Таразский университет им. Ш. Муртаза, Тараз, Казахстан

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЦЕПТУРЫ СМУЗИ «ТАЛҚАН-ҮЛПЕК»

Аннотация. В статье приводятся результаты научной работы по разработке рецептуры кисломолочного и молочного смузи на основе талкана «Талқан-үлпек», полученного из трехзлаковых хлопьев, не требующих варки, при этом особое внимание уделялось органолептическим показателям, а подбор компонентов определялся исходя из функциональной направленности смузи с использованием муки из мякоти тыквы. С целью оптимизации рецептуры кисломолочного и молочного смузи «Талкан-үлпек» была проведена органолептическая оценка смузи с помощью симплекс-сетчатого плана Шеффе. В результате решения задачи был выбран кисломолочный смузи «Талкан-үлпек» и определена рецептура смеси, которая позволяет получить кисломолочный смузи с высокими органолептическими показателями при содержании в них 11, 8% талкана «Талкан-үлпек» и 6,6% муки из мякоти тыквы.

Ключевые слова: смузи, талкан, мука из мякоти тыквы, рецептура, органолептические показатели, уравнение регрессии.

A.B. Mynbayeva[1], Z.M. Bayanbayeva[1],
A.K. Sadybayev[1], P.M. Maliktaeva[2], A.T. Onlabekova[1]

[1]Taraz University named after M.Kh.Dulaty, Taraz, Kazakhstan
[2]International Taraz University named after. Sh. Murtaza, Taraz, Kazakhstan

OPTIMIZATION OF THE RECIPE FOR THE SMOOTHIE “TALKAN-ULPEK”

Abstract. The article presents the results of scientific work on the development of recipes for fermented milk and milk smoothies based on Talqan-ulpek, obtained from three-grain flakes that do not require cooking. with particular attention paid to organoleptic indicators, and the selection of components was determined based on the functional orientation of the smoothie using pumpkin pulp flour. In order to optimize the recipe for the fermented milk and milk smoothie “Talkan-ulpek,” an organoleptic evaluation of the smoothie was conducted using Schaff's simplex mesh plan. As a result of solving the problem, the sour milk smoothie “Talkan-ulpek” was selected and the recipe for the mixture was determined, which allows obtaining a sour milk smoothie with high organoleptic indicators with a content of 11.8% of “Talkan-ulpek” talkan and 6.6% of pumpkin pulp flour.

Keywords: smoothie, talkan, pumpkin pulp flour, recipe, organoleptic indicators, regression equation.

References

1. Popova E.I., Bryksina K.V., Uteshev V.Yu. et al. Tekhnologiya proizvodstva smuzi dlya zdorovogo pitaniya [Technology for the Production of Smoothies for Healthy Nutrition] // Technologies and Products for Healthy Nutrition: Proceedings of the XII National Scientific and Practical Conference with International Participation. – Saratov: Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, 2021. – P. 568-571. [in Russian].
2. Mynbaeva A.B., Sadibayev A.K., Maliktaeva P.M., Umirbekova A.S. “Talqan-ülpek” ulttyk öniminin retsepturasyn ontaylandyru [Optimization of the Recipe of the “Talqan-ülpek” National Product] // Mechanics and Technologies. – 2025. – No. 2. – P. 121-127. [in Kazakh].
3. Dried Ground Pumpkin “Matilda” [Electronic resource]. – Available at: https://www.wildberries.kg/catalog/78287388/detail.aspx.
4. Egorova S.V., Akhmatziaeva M.M. Osobennosti konstruirovaniya retsepta smuzi na osnove konoplyanoy muki [Features of Constructing Smoothie Recipes Based on Hemp Flour] // Innovations in Technology and Techniques of Functional Food Products Based on Medical and Biological Concepts: Proceedings of the VIII International Scientific and Technical Conference, dedicated to the 90th Anniversary of the Technological Faculty of VSUIT. – 2019. – P. 352-358. [in Russian].
5. Akhnazarova S.L., Kafarov V.V. Metody optimizatsii eksperimenta v khimicheskoy tekhnologii [Methods of Experiment Optimization in Chemical Technology]. – Moscow: Vysshaya Shkola, 1985. – 319 p. [in Russian].

ҒТАМР 65.35.33

П.М. Маликтаева[1] – *негізгі автор*,
К.Ш. Саржанова[2], Т.Н. Сайлаубек[3]

[1]Канд. техн. наук, ассоц. профессор (доцент), [2]Канд. техн. наук, [3]Магистр

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0002-1251-811X [2]https://orcid.org/0009-0005-9898-8794 [3]https://orcid.org/0009-0004-6210-606X*

[1,2,3]Шерхан Мұртаза атындағы Халықаралық Тараз университеті,
Тараз, Казақстан

@ *[2]Sarzhanova50@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/WGBN4728

ҰННАН ЖАСАЛҒАН КОНДИТЕРЛІК ӨНІМДЕР ӨНДІРІСІНДЕ АҚУЫЗДЫ ЖҮГЕРІ ПАСТАСЫН ҚОЛДАНУ

Аңдатпа. Мақалада созылмалы печеньелер өндірісінде печеньені жүгері крахмалы өндірісінің қалдық өнімі болып табылатын, ақуызды жүгері пастасымен байыту мүмкіндігі зерттелді. Эксперименттік мәліметтерді компьютерде өңдеу нәтижесінде созылмалы печеньенің сапалық көрсеткіштерін жоғарылататын ақуызды жүгері пастасының оңтайлы мөлшері анықталды. Жұмыста қамырдың салмағына байланысты құрамына 0, 3,5, 7 және 10,5% паста қосылған үлгілер алынды. Құрамында 10,5% паста қоспасы бар печеньелердің құрылымы қабатталған, беттері тегіс емес, жарықтары бар және кеуектілігі біркелкі емес. Сондықтан, созылмалы қамырды өндіру кезінде қосылатын пастаның мөлшері 7%-дан аспауы керек. Жүргізілген зерттеулер бойынша паста қосылған печеньедегі ақуыздың аминқышқылдық құрамының талдауы, қосылатын пастаның мөлшері жоғарылаған сайын печеньенің биологиялық құндылығы алмастырылмайтын амин қышқылдарының жоғарылауына байланысты арта түсетінін көрсетті.

Тірек сөздер: ақуызды жүгері пастасы, созылмалы печенье, амин қышқылдары, реологиялық қасиеттері, биологиялық құндылығы.

Маликтаева, П.М. Ұннан жасалған кондитерлік өнімдер өндірісінде ақуызды жүгері пастасын қолдану [Мәтін] / П.М. Маликтаева, К.Ш. Саржанова, Т.Н. Сайлаубек // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.119-124. https://doi.org/10.55956/WGBN4728

Кіріспе. Ұннан жасалған кондитерлік өнімдер халық арасында жоғары сұранысқа ие. Дегенмен, олардың барлығы көмірсуларға толы, ал ақуыздардың массалық үлесі жеткіліксіз. Құрамында алмастырылмайтын амин қышқылдары бар және қоректенуге қарсы заттар жоқ жүгері пастасының жоғары ақуыздылығы (құрғақ зат бойынша 60-тан 70%-ға дейін), сонымен қатар оның құнының төмендігі, оны протеин заттарын алу үшін перспективалы шикізатқа айналдырады [1].

Азық-түлік шикізаты және олардан өңделген өнімдердің сапасы мен қауіпсіздігі мәселесін шешу проблемасы – Қазақстан халқының салауатты тамақтану саласындағы мемлекет саясатының концепциясын іске асыру жөніндегі басым бағыттардың бірі болып саналады.

Печенье негізінен үш түрге бөлінеді: қантты, созылмалы және сдобалы. Жұмыстың мақсаты созылмалы печенье сапасын қалыптастыру үшін ақуызды жүгері пастасының рецептураға қосылатын мөлшерін анықтау.

Азық-түлік тауарларының, сондай-ақ жартылай фабрикаттардың сапасын қалыптастырудың негізгі ұстанымдарының ішінде олардың қауіпсіздігі мен өнімнің тағамдық құндылығын ескерудің мәні зор [2].

Өкінішке орай, қазіргі кезде әртүрлі қоспаларды тамақ өнімдерінің сақталу қасиеттерін, ал жартылай фабрикаттарға дәмін жақсарту мақсатында қолданады. Сондықтан созылмалы печенье өндіруде ақуызды жүгері пастасын қолдану печеньенің биологиялық құндылығын арттырып, адам ағзасына қажетті ауыстыруға болмайтын амин қышқылдары мөлшерінің жоғарылауына әсерін тигізеді [2].

Зерттеу шарттары мен әдістері. Байыту мақсатында ұннан жасалған кондитерлік өнімдерді, әсіресе созылмалы печеньелерді өндіруде ақуызды жүгері пастасы негізінде жақсартылған тағамдық құндылығы бар печенье рецепті жасалды. Паста ақуыздарының құрамында 18 аминқышқылдары, соның ішінде ауыстыруға болмайтындардың толық жиынтығы бар. Ақуызды жүгері пастасында құрғақ зат негізінде 60-тан 70%-ға дейін ақуыз бар, пастаның ылғалдылығы 90% құрайды [2].

Дайын өнімдердің сақтау мерзіміне байланысты әртүрлі пайыздық жүгері паста қоспалары бар қамыр мен печеньенің физика-химиялық және реологиялық қасиеттері зерттеліп, олардың биологиялық құндылығы анықталды. Жартылай фабрикатқа – қамырға және бірінші сұрыпты ұннан жасалған дайын печеньеге жүгері крахмалы өндірісінің қалдық өнімі болып табылатын, жүгеріден жасалған ақуызды жүгері пастасы қосылды, оның мөлшері қамырдың салмағына байланысты 3,5%, 7% және 10,5% құрайды [1].

Созылмалы қамыр мен печенье зертханалық жағдайда, алдымен зертханалық диспергаторда эмульсиялау арқылы, содан кейін зертханалық қамыр араластырғышта 30 минут қамыр илеу арқылы дайындалды. Қамыр 1 сағат аралықпен екі рет доғаланып, пішінделіп, 200-250°С температурада 4,5-5 минут пісірілді. Пісіру алдында қамырға талдау жасалды. Пісіргеннен кейін МЕМСТ 5667-65 бойынша дайын өнімдер суытылған соң көзмөлшерлік көрсеткіштері бойынша органолептикалық тұрғыдан бағаланып, олардың тығыздығы анықталды [1]. Қамыр мен дайын печеньедегі ылғалдың массалық үлесі Чижов құрылғысында тездетіп кептіру (экспресс әдіспен) әдісімен анықталды. Пайыздық мөлшері әртүрлі ақуызды жүгері пастасының созылмалы печеньенің қалыптасуына әсер етуін зерттеу нәтижелері бойынша талдау жүргізіліп қорытынды жасалды.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Ақуызды жүгері пастасы қосылған печеньенің сапа көрсеткіштерінің сақталу дәрежесі пісіріп болған соң әрбір апта сайын 30 күнге дейін бақыланды. Қамырдың қышқылдығы мен қант түзу қабілетінің қамырдағы пастаның пайыздық мөлшеріне тәуелділігі 1-кестеде көрсетілген. Кестеден көрініп тұрғандай, қамырдағы паста пайызы артқан сайын оның қышқылдығы артады. Бұл паста дайындау технологиясының ерекшелігіне байланысты, бірақ ол созылмалы печенье үшін стандартты қышқылдық мәнінен (2°Н) аспайды [1].

Созылмалы қамырдың қант түзу қабілеті стандарттармен шектелмейді. Оны арттыру дайын өнімнің сапасына оң әсер етеді. Қамырға қосылатын паста пайызы артқан сайын ығысу беріктігінің төмендеуі байқалады, бұл қамырдың пластикалық қасиеттерінің жақсарғанын көрсетеді.

Кесте 1

Паста қосылған қамырдың физика-химиялық қасиеттері

Көрсеткіштер	0%	3,5%	7%	10,5%
Қышқылдық, °Н	1,1	1,5	1,7	1,9
Қант түзу қабілеті, мг мальтоза	1,73	2,21	3,55	3,72
Меншікті ығысу күші, Па	1,32	0,87	0,84	1,22
Ылғалдану, %	150,8	145,2	141,3	127,3

Осы кестеден, бақылаумен салыстырғанда құрамындағы пастаның мөлшері өскен сайын, қамыр ылғалдылығының төмендеуі байқалады. Қамыр мен дайын печеньенің ылғалдылығы МЕМСТ 5900-2014 стандарты шегінде: қамыр үшін 25-26% және дайын өнім үшін көбінесе 6-12% аралығында. Паста мөлшері 7%-ға дейін болған кезду печеньенің ылғалды сіңіруі аздап төмендейді, ол стандарт талабынан төмен емес [1].

Органолептикалық бағалау паста құрамының жоғарылауымен печенье тығыздығының біршама төмендейтінін және бөгде иіс пен дәмнің байқалмайтынын көрсетті. 3,5% және 7% паста қосылған үлгілердің сынық көрінісінен жақсы пісірілгендігін, кеуектілігінің біркелкілігін және бос жерлерінің жоқтығын көруге болады. Құрамында 10,5% паста қоспасы бар печеньелердің құрылымы қабатталған, беттері тегіс емес, жарықтары бар және кеуектілігі біркелкі емес. Сондықтан, созылмалы қамырды өндіру кезінде қосылатын пастаның мөлшері 7%-дан аспауы керек.

Қазіргі кезде тұтынушылар дайын өнімнің түр сипатына аса көңіл бөлетіндіктен, бұл жұмыста қосылған ақуызды жүгері пастасының печеньенің ескіруіне (қаттылығына) әсер етуі структурометр аспабында тамақ өнімдерінің тығыздығын анықтау режимі бойынша анықталды [3].

Ол үшін пісіріп болған соң 7, 3,5, 10,5% ақуызды жүгері пастасы қосылып дайындалған үлгілердің тығыздығы анықталды.

Анықтау келесі тәртіппен жүргізілді: Берілген өлшемдер: F_o – жанасу күші, v – үстелдің жылжу жылдамдығы. Енгізу материалдың сипаттық бұзылу кезеңіне дейін жүргізіледі (сыну, сынықтардың пайда болуы), содан кейін үстел максималды жылдамдықпен төмен жылжиды. Бұзылу кезінде индикаторда F және H мәндері пайда болады.

Егер бұзылу кезеңі болмаса, онда үстел жылдамдығы жанасу күшінің максималды деңгейіне немесе үстелдің шеткі жоғарғы деңгейіне жетеді. Максималды жанасу күшіне жеткен кезде, индикаторда «Шегі F » және F пен H мәндері кезектесіп шығып отырады. Алынған мәліметтер өңделіп [4], 2-кестеде көрсетілді.

Кесте 2

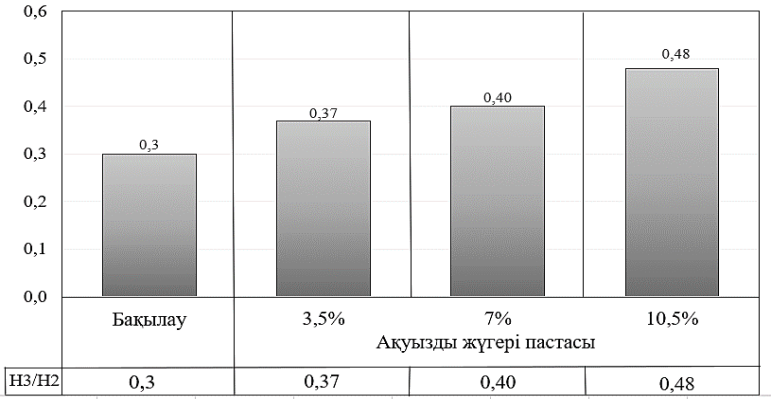
Паста қосылған созылмалы печеньенің тығыздығы

Үлгілер		F, Н	FoH	Vмм/мин	H_1,мм	H_2,мм	H_3,мм	H_3/H_2
Бақылау		10	05	100	14,87	11,42	3,45	0,30
Ақуызды жүгері пастасы	3,5%	10	0,5	100	16,73	10,08	3,27	0,37
	7%	10	0,5	100	15,31	11,57	3,29	0,40
	10,5%	10	0,5	100	11,84	10,8	3,03	0,48

Алынған үлгілерден пісіріп болған соң 10, 20, 30 тәулік сақталғаннан кейін диаметрі 30 мм, биіктігі 20-25 мм цилиндрлі пішінді сынама алынып, зерттеу жүргізілді. Зерттеу нәтижесінде алынған нәтижелер EXCEL-де өңделіп, берілген формула бойынша есептеліп нәтижесінде келесі тәуелділік

анықталды [4]. 10 Н күш көрсеткендегі өнімнің деформацияға ұшырау кезінде қайта қалпына келуі арқылы алынға мәліметтер бойынша дайын өнімнің қатты, жұмсақтығына қарай беріктігінің қатынасы арқылы ескіруі анықталды. Осы алынған нәтижелер 1-суретте көрсетілген.

Суретте көрсетілгендей, бақылаумен салыстырғанда дайын өнім тығыздығының артуы байқалады. Жалпы ұнды өнімдердің ескіруі оның құрамындағы крахмалдың мөлшеріне байланысты. Сондықтан созылмалы печенье өндіруде ақуызды жүгері пастасын қолдану печеньенің биологиялық құндылығын арттырып, ескіруінің баяулауына себебін тигізеді. Тығыздығы жоғарылаған сайын дайын өнім жұмсақ, әрі балғындығы сақталады.Тығыздығы жоғарылаған сайын дайын өнім жұмсақ, әрі балғындығы сақталады.



Сурет 1. Ақуызды жүгері пастасын қосып дайындалған печеньенің тығыздығы

Паста қосылған (3-кесте) печеньедегі ақуыздың аминқышқылдық құрамының талдауы, қосылатын пастаның мөлшері жоғарылаған сайын печеньенің биологиялық құндылығы алмастырылмайтын амин қышқылдарының жоғарылауына байланысты арта түсетінін көрсетті.

Кесте 3

Паста қосылған печеньенің аминқышқылдық құрамы, %

Амин қышқылдары, г 100 г ақуызға	Бақылау	3,5	7	10,5
Лизин	0,94	1,05	1,51	1,66
Треонин	2,32	2,34	2,31	2,43
Валин	3,06	3,13	3,21	4,01
Изолейцин	2,02	2,03	2,17	3,06
Лейцин	6,21	6,45	6,63	7,04
Фенилаланин	3,79	4,01	4,83	4,80
Метионин	0,73	0,61	0,86	0,68
Алмастырылмайтын аминқышқылдарының жалпы мөлшері	19,07	19,62	21,52	23,68

Бақылау нұсқасымен салыстырғанда қамырға 7% паста қосылғанда жалпы ақуыз мөлшері 15%-ға артады.

Қорытынды. Созылмалы печенье өндіруде 7%-ға дейін ақуызды жүгері пастасын қосу печеньенің биологиялық құндылығын арттырады,

қамырдың реологиялық қасиеттерін жақсартып, тұтынушылық қабілеттерін жоғарылатады.

Әдебиеттер тізімі

1. Байысбаева, М.П. Нан өнімдерінің технологиясы [Мәтін]: оқулық / М.П. Байысбаева. – Алматы: Дәуір баспасы, 2011. – 448 б.
2. Чижикова, О.Г. Исследование кукурузной муки в качестве основы для комплексного хлебопекарного улучшителя [Текст] / О.Г. Чижикова, Л.О. Коршенко, Е.С. Смертина // Пищевые биотехнологии: проблемы и перспективы в XXI веке: материалы II Международного симпозиума. – Владивосток: Изд-во ТГЭУ, 2004. – С. 187-189.
3. Структурометр. Устройство для определения структурно-механических свойств хлеба и реологических свойств теста [Текст]. – М.: НПО «Радиус», 1995. – 21 с.
4. Гутер, Р.С. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта [Текст] / Р.С. Гутер, Б.В. Овчинский. – М.: Наука, 1970. – С. 332-351.

Материал редакцияға 17.11.25 түсті, 10.03.26 қабылданды.

П.М. Маликтаева[1], К.Ш. Саржанова[1], Т.Н. Сайлаубек[1]

[1]Международный Таразский университет им. Ш. Муртаза, Тараз, Казахстан

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕЛКОВОЙ КУКУРУЗНОЙ ПАСТЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация. В статье исследована возможность обогащения затяжного печенья белковой кукурузной пастой, являющейся побочным продуктом производства кукурузного крахмала. В результате компьютерной обработки экспериментальных данных определено оптимальное количество белковой кукурузной пасты, повышающее качественные показатели затяжного печенья. В работе были получены образцы с добавлением пасты в количестве 0, 3,5, 7 и 10,5% от массы теста. Печенье с содержанием 10,5% пасты характеризуется слоистой структурой, неровной поверхностью, наличием трещин и неравномерной пористостью. В связи с этим при производстве затяжного теста содержание добавляемой пасты не должно превышать 7%. Проведённые исследования показали, что анализ аминокислотного состава белка в печенье с добавлением пасты свидетельствует о повышении биологической ценности продукта за счёт увеличения содержания незаменимых аминокислот при увеличении доли добавляемой пасты.

Ключевые слова: белковая кукурузная паста, затяжное печенье, аминокислоты, реологические свойства, биологическая ценность.

P.M. Maliktaeva[1], K.Ch. Sarzhanova[1], T.N. Sailaubek[1]

[1]International Taraz University named after. Sh. Murtaza, Taraz, Kazakhstan

APPLICATION OF PROTEIN CORN PASTE IN THE PRODUCTION OF FLOUR-BASED CONFECTIONERY PRODUCTS

Abstract. The article investigates the possibility of enriching hard biscuits with protein corn paste, which is a by-product of corn starch production. As a result of computer processing of experimental data, the optimal amount of protein corn paste that

improves the quality characteristics of the biscuits was determined. In this study, samples containing 0, 3.5, 7, and 10.5% paste relative to the dough weight were prepared. Biscuits with 10.5% paste exhibited a layered structure, uneven surface, presence of cracks, and non-uniform porosity. Therefore, the amount of paste added during dough production should not exceed 7%. The conducted studies showed that the analysis of the amino acid composition of protein in biscuits with added paste indicates an increase in the biological value of the product due to the rise in essential amino acids as the amount of added paste increases.

Keywords: protein corn paste, short-dough cookies, amino acids, rheological properties, biological value.

References

1. Baiysbaeva, M.P. Nan önimderiniñ texnologiyasy [Technology of bakery products]: textbook. – Almaty: Dawir Publishing, 2011. – 448 p. [in Kazakh].
2. Chizhikova O.G., Korshenko L.O., Smertina E.S. Issledovanie kukuruznoy muki v kachestve osnovy dlya kompleksnogo hlebopekarnogo uluchshitelya [Study of corn flour as a base for a complex bakery improver] // Food Biotechnology: Problems and Perspectives in the XXI Century: Proceedings of the II International Symposium. – Vladivostok: TGEU Publishing, 2004. – P. 187-189. [in Russian].
3. Strukturometr. Ustroystvo dlya opredeleniya strukturno-mexanicheskikh svoystv hleba i reologicheskikh svoystv testa [Device for determining the structural-mechanical properties of bread and the rheological properties of dough]. – Moscow: NPO “Radius”, 1995. – 21 p. [in Russian].
4. Guter, R.S., Ovchinsky, B.V. Elementy chislennogo analiza i matematicheskoy obrabotki rezul’tatov opyta [Elements of numerical analysis and mathematical processing of experimental results]. – Moscow: Nauka, 1970. – P. 332-351. [in Russian].

ҒТАМР 65.35.33

Қ.Т. Хасен[1] – *негізгі автор,*
Г.К. Кузембаева[2], К.К. Кузембаев[3],
Д.А. Тлевлесова[4], А.Н. Есенгазиева[5]

©

[1]Магистрант, [2]Техн. ғылым. канд., қауымдас. профессор м.а.,
[3]Техн. ғылым. канд., қауымдас. профессор, [4]PhD, профессор,
[5]PhD, профессор ассистенті

ORCID *[1]https://orcid.org/0009-0004-9005-5570 [2]https://orcid.org/0000-0003-0558-9531*
[3]https://orcid.org/0000-0002-0535-3839 [4]https://orcid.org/0000-0002-5084-6587
[5]https://orcid.org/0000-0003-2314-2995

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

@ *[1]hasenovakarakat2@gmail.com*

https://doi.org/10.55956/JIQW8032

ӨНГЕН ТАРЫ НЕГІЗІНДЕ СПОРТТЫҚ ТАМАҚТАНУҒА АРНАЛҒАН ФУНКЦИОНАЛДЫ БАТОНЧИК ЖАСАУ

Аңдатпа. Ақуыз және функционалды компоненттер қосылған өнген тары негізіндегі спорттық тамақтануға арналған функционалды батончик жасау нәтижелері ұсынылған. Зерттеу барысында өнімнің оңай сіңетін қанттарды қолданбай қалыптасатыны және термиялық өңдеуден кейін тұрақты құрылымымен сипатталатыны анықталды. Дайын батончиктердің қаттылығы 39-55 Н диапазонында, ылғал ұстау қабілеті 13,0-17,3%, ал органолептикалық балл 9 балдық шкала бойынша 6,9-8,7 баллды құрайды. Алынған мәндер тығыз, бірақ өте қатты емес құрылымның қалыптасуын және өнімнің қанағаттанарлық тұтынушылық қолайлылығын көрсетеді. Инулинді қосу тағамдық талшықтардың үлесін арттыру және құрылымды тұрақтандыру арқылы өнімнің функционалдық бағытын арттыруға көмектесетіні анықталды. Электролит кешенін қосу (Ca, P, Na, K) жаттығу кезінде минералды шығындардың орнын толтыруға бағытталған. Алынған нәтижелердің жиынтығы жасалған батончиктердің физикалық белсенділігі жоғары адамдардың тағамдары ретінде пайдалануға жарамды спорттық тамақтанудың функционалды өнімі ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

Тірек сөздер: спорттық тамақтану, функционалды өнімдер, тары, батончик, тағамдық құндылық.

Хасен, Қ.Т. Өнген тары негізінде спорттық тамақтануға арналған функционалды батончик жасау [Мәтін] / Қ.Т. Хасен, Г.К. Кузембаева, К.К. Кузембаев, Д.А. Тлевлесова, А.Н. Есенгазиева // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.125-131. https://doi.org/10.55956/JIQW8032

Кіріспе. Спорттық тамақтанудың функционалды өнімдері дене белсенділігі жоғарылаған кезде денені энергиямен және тағамдық заттармен қамтамасыз ету мақсатында жасалады. Мұндай өнімдердің кең таралған түрлерінің бірі – қолдануға ыңғайлы және қосымша дайындықты қажет етпейтін батончиктер. Сонымен қатар, нарықтағы көптеген өнімдерде жеңіл

сіңімді қанттар бар және олардың тағамдық құндылығы шектеулі, бұл оларды үнемі қолдануда практикалық маңыздылығын төмендетеді.

Көптеген мақалалар [1-5] спорттық тамақтануға арналған батончиктерді жасау кезінде гликемиялық жүктемесі төмен астық шикізатын пайдаланудың орындылығын негіздейді. Негіз ретінде күрделі көмірсулардың, тағамдық талшықтардың және минералдардың құрамымен сипатталатын өнген тары таңдалды [6,7]. Сұлы ұнын қосымша енгізу тағамдық талшықтардың үлесін арттыруға және өнімнің құрылымын жақсартуға мүмкіндік береді.

Батончиктердің тағамдық және функционалдық құндылығын арттыру үшін рецептураға ақуыздың толық жеткізілуін қамтамасыз ететін ақуыз компоненттері, сондай-ақ пребиотикалық функцияны орындайтын инулин кіреді. Физикалық жүктеме кезінде минералды заттардың жоғалуын ескере отырып, өнімнің құрамына электролиттер кешені енгізілді. Осылайша, жұмыста өнген тары негізінде функционалды спорттық батончиктерді жасау және оның тағамдық және функционалдық бағытын бағалау мәселесі шешілді.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Зерттеу нысаны – өнген тары ұны, сұлы ұны, ақуыз компоненттері, инулин және электролит кешені негізінде жасалған спорттық батончик. Өнімнің тағамдық құндылығын есептеу шикізаттың химиялық құрамы туралы анықтамалық мәліметтерді қолдана отырып, рецептура бойынша құрам негізінде жүргізілді. Құрамдастардың функционалды мақсаты олардың белгілі технологиялық және физиологиялық қасиеттеріне қарай бағаланды. Эксперименттік деректер салыстырмалы және аналитикалық талдау әдістерін қолдана отырып жинақталды және талданды.

Рецептураны таңдау және тағамдық құндылығын есептеу.

Спорттық батончиктерді жасау үшін өнген тары ұны, сұлы ұны, жұмыртқаның ақуызы, инулин, ұсақталған кептірілген жемістер мен электролиттер кешенінің құрамы құрылды. Тұжырымдамада жеңіл сіңетін қанттар мен глюкоза сироптарының болмауы негізгі шарт болды. Жұмыртқаның ақуызы жоғары сапалы ақуыздың көзі ретінде және өнімнің кеуекті және тұрақты құрылымын қамтамасыз ететін пісіру кезінде құрылымды құрайтын агент ретінде пайдаланылды. Инулин пребиотикалық компонент және ішінара ылғал сақтайтын агент рөлін атқарды. Электролиттер жаттығу кезінде натрий мен калийдің жоғалуын өтеу үшін енгізілді.

Рецептура ақуыздың жоғары үлесін, «баяу сіңетін» көмірсулардың басым болуын, тағамдық талшықтардың жеткілікті деңгейін және майдың шектеулі мөлшерін қамтамасыз ету үшін таңдалды**.**

АМК және энергетикалық құндылықты есептеу.

Тағамдық құндылығы тағамдық шикізаттың химиялық құрамының анықтамалық кестелеріне негізделген математикалық тепе-теңдік әдісімен есептелді. Әрбір құрамдас үшін ақуыздың, майдың және көмірсулардың массалық үлесі анықталды, содан кейін олардың 100 г өнімге қосқан үлесі жинақталды.

Есептеу көрсеткендей, 100 г батончиктерде:

– ақуыз – 18,3 г (технологиялық шығындар ескеріле отырып, кейіннен 15–18 г диапазоны ескерілді);

– майлар – 4,4–5,0 г;

– көмірсулар – шамамен 63 г, оның ішінде сіңетін көмірсулар – 55-57 г;

– тағамдық талшықтар – 6-7 г (сұлы ұны, тары, инулин және кепкен жемістер есебінен).

Энергетикалық құндылық стандартты формула бойынша есептелді:

$$E = 4 \cdot Р + 4 \cdot У + 9 \cdot Ж, \quad (1)$$

мұндағы: Р – ақуыздар, У – сіңетін көмірсулар, Ж – майлар.

Алынған колориялық 100 г өнімге шаққанда шамамен 338-360 ккал құрады, бұл функционалды мақсаттағы спорттық тамақтануға арналған қажетті диапазонға сәйкес келеді.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. *Жасалған өнімдердің тағамдық құндылығы* (1-кесте).

Кесте 1

Әзірленген батончиктердің тағамдық құндылығы (M ± SD, n = 3)

Көрсеткіш	Мәні
Ақуыз, г/100 г	17,2 ± 0,8
Майлар, г/100 г	4,6 ± 0,3
Көмірсу, г/100 г	58,3 ± 1,5
Тағамдық құндылығы, г/100 г	6,5 ± 0,4
Энергетикалық құндылығы, ккал	351 ± 6

Өнім ақуыз және тағамдық талшықтар мөлшерінің жоғарылауымен, сондай-ақ жаттығу кезінде жеңіл тағам ретінде пайдалану үшін жеткілікті энергетикалық құндылығымен сипатталатыны анықталды. Оңай сіңетін қанттардың болмауы қандағы глюкозаның күрт ауытқуын азайтуға мүмкіндік береді.

Массалық тепе-теңдік және ылғалдылық. Пісірудің масса мен құрылымға әсерін бағалау процестің тұрақтылығын көрсетті (2-кесте).

Кесте 2

Масса және ылғал жоғалту көрсеткіштері (M ± SD, n = 3)

Көрсеткіш	Мәні
Шикі дайындаманың массасы, г	142,3 ± 3,1
Дайын өнімнің массасы, г	100,2 ± 2,4
Ылғал жоғалуы, %	29,6 ± 1,2

28-32% диапазонындағы ылғалдың жоғалуы тұрақты құрылымның қалыптасуын қамтамасыз етеді, шамадан тыс кептіру мен шамадан тыс ылғалдылықты болдырмайды. Құрамдастардың құрамы мен функционалды тағайындалуы 3-кесте келтірілген.

Антиоксиданттық белсенділік спектрофотометриялық әдістермен анықталды. Алынған мәліметтер өнімнің айқын АКС-ін көрсетеді.

Кесте 3

Антиоксиданттық қабілет (M ± SD, n = 3)

Көрсеткіш	Мәні
DPPH бойынша АКС, % ингибирлеу	60,4 ± 3,1 %
АКС, мг TE/г өнім	4,1 ± 0,2

Жоғары антиоксиданттық белсенділік тары, сұлы және кептірілген жемістердің фенолдық қосылыстарының болуына байланысты. Өнімнің негізі күрделі көмірсулар мен минералдардың көзі өнген тары болып табылады. Ақуыз компоненті маңызды аминқышқылдарының түсуін қамтамасыз етеді және өнімнің құрылымын қалыптастыруға қатысады. Инулин пребиотикалық компонент рөлін атқарады және диеталық талшықтың көбеюіне ықпал етеді. Электролиттерді енгізу физикалық белсенділік кезінде минералды тепе-теңдікті сақтауға бағытталған.

Әзірленген батончиктің жалпыланған сипаттамасы 4-кестеде келтірілген.

Кесте 4

Әзірленген батончиктердің жалпыланған сипаттамасы

Көрсеткіш	Сипаттама
Өнімнің тағайындалуы	Спорттық тамақтануға арналған функционалдық өнім
Мақсатты топ	Физикалық белсенділігі жоғары тұлғалар
Дақыл негізі	Өнген тары, сұлы ұны
Ақуызды құрамдас	Өсімдік және/немесе жануар текті ақуызды құрамдастар
Функционалды қоспалар	Инулин, электролиттер кешені (Ca, P, Na, K)
Құрамының ерекшелігі	Жеңіл сіңетін қанттардың болмауы
Тұтыну түрі	Тұтынуға дайын батончик

Нәтижелер өнімнің тағамдық және функционалдық құндылығын біріктіретінін және функционалды спорттық өнімдеріне жатқызылуы мүмкін екенін көрсетеді.

Алынған нәтижелер тұтастай алғанда астық негізіндегі функционалдық және спорттық батончиктерді әзірлеуге арналған жұмыстарда ұсынылған деректерге сәйкес келеді. Сонымен, зерттеулерде астық шикізаты мен тағамдық талшықтарды пайдалану батончиктердің тағамдық құндылығын арттыруға және құрамында жеңіл сіңімді қант бар өнімдермен салыстырғанда ағзаның тұрақты энергиямен қамтамасыз етілуін қамтамасыз етуге мүмкіндік беретіні атап өтілді [8-10].

Ақуыз компоненттерінің тағамдық құндылығы мен спорттық батончиктердің құрылымын қалыптастырудағы рөлі әдебиет деректерімен де расталады, мұнда ақуыздарды енгізу өнімнің биологиялық құндылығын арттыруға және оның тұтынушылық қасиеттерін жақсартуға ықпал ететіні көрсетілген [11-13]. Бірқатар авторлардың мәліметтеріне ұқсас, функционалды өнімдерде инулинді тағамдық талшық көзі және пребиотикалық компонент ретінде қолданудың орындылығы негізделген [14-17].

Осылайша, осы зерттеудің нәтижелері әдеби деректерге қайшы келмейді және тағамдық және функционалдық құндылығы жоғары дәнді-дақыл негізіндегі функционалдық спорттық батончиктерді өндіру мүмкіндігін растайды.

Қорытынды. Өнген тары негізінде функционалды спорттық батончиктер жасалды. Дәнді-дақыл негізі, ақуыз компоненттері, инулин және электролиттердің ұтымды үйлесімі өнімнің тағамдық және функционалдық құндылығын арттыратыны көрсетілген. Алынған нәтижелер функционалды және спорттық тамақтануға арналған өнімдердің жаңа түрлерін әзірлеу кезінде пайдаланылуы мүмкін.

Әдебиеттер тізімі

1. Sinyavskiy Yu.A., Tuigunov D.N., Sarsembayev Kh.S., Omarov E.N., Imankulova S.K., Akhatayeva E.N. Spetsializirovannyy produkt dlya sportivnogo pitaniya [Specialized product for sports nutrition] //The Journal of Almaty Technological University. – 2024. – Vol. 143(1). – P. 161-172. [in Russian]. https://doi.org/10.48184/2304-568X-2024-1-161-172.
2. Tormási J., Benes E., Kónya É. L. et al. Evaluation of protein quantity and protein nutritional quality of protein bars with different protein sources // Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15. – P. 9388. https://doi.org/10.1038/s41598-025-94072-4.
3. Majzoobi M., Jafarzadeh S., Teimouri S., Ghasemlou M., Hadidi M., Brennan C.S. The Role of Ancient Grains in Alleviating Hunger and Malnutrition // Foods. – 2023. – Vol. 12. – P. 2213. https://doi.org/10.3390/foods12112213.
4. Aweya J.J., Sharma D., Bajwa R.K., Earnest B., Krache H., Moghadasian M.H. Ancient Grains as Functional Foods: Integrating Traditional Knowledge with Contemporary Nutritional Science // Foods. – 2025. – Vol. 14. – P. 2529. https://doi.org/10.3390/foods14142529.
5. Balakrishnan G., Schneider R.G. The Role of Amaranth, Quinoa, and Millets for the Development of Healthy, Sustainable Food Products: A Concise Review // Foods. – 2022. – Vol. 11. – P. 2442. https://doi.org/10.3390/foods11162442.
6. Tanwar E., Kalpana K. Can consumption of finger millet diet improve mental health status in athletes: a possible link with modulation of cortisol levels // Physical Activity and Nutrition. – 2024. – Vol. 28. – No. 4. – P. 49-59. https://doi.org/10.20463/pan.2024.0032.
7. More A., Morya S., Iyiola A.O. Sorghum and Millets // In: Singh J., Kaur S., Rasane P., Singh J. (eds.) Cereals and Nutraceuticals. – Singapore: Springer, 2024. https://doi.org/10.1007/978-981-97-2542-7_6.
8. Millets in Sports Nutrition: A Comprehensive Review of Energy, Stamina, and Recovery Benefits / TGHClinic. – 2025 [Electronic resource]. – Access mode: https://www.tghclinic.com/post/millets-in-sports-nutrition-a-comprehensive-review-of-energy-stamina-and-recovery-benefits#:~:text=The%20glycemic%20index%20,energy%20availability%20over%20extended%20periods.
9. Parab P.J. Nutritional supplement and method of preparation thereof: Pat. WO2017013527 A1. World Intellectual Property Organization. – Application PCT/IB2016/054143; filed 12.07.2016; publ. 26.01.2017.
10. Furuyashiki T., Tanimoto H., Yokoyama Y., Kitaura Y., Kuriki T., Shimomura Y. Effects of ingesting highly branched cyclic dextrin during endurance exercise on rating of perceived exertion and blood components associated with energy metabolism // Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry. – 2014. – Vol. 78. – No. 12. – P. 2117-2119. https://doi.org/10.1080/09168451.2014.943654.
11. Effect of cyclic dextrin ingestion on endurance performance (NCT01358305) / ClinicalTrials.gov Identifier: NCT01358305 [Electronic resource]. – Access mode: https://clinicaltrials.gov/study/NCT01358305.
12. Butteiger D.N., Cope M., Liu P., Mukherjea R., Volpi E., Rasmussen B.B., Krul E.S. A soy, whey and caseinate blend extends postprandial skeletal muscle protein synthesis in rats // Clinical Nutrition. – 2013. – Vol. 32. – No. 4. – P. 585-591. https://doi.org/10.1016/j.clnu.2012.10.001.
13. Reidy P.T., Walker D.K., Dickinson J.M., Gundermann D.M., Drummond M.J., Timmerman K.L., Fry C.S., Borack M.S., Cope M.B., Mukherjea R., Jennings K., Volpi E., Rasmussen B.B. Protein blend ingestion following resistance exercise promotes human muscle protein synthesis // The Journal of Nutrition. – 2013. https://doi.org/10.3945/jn.112.168021.
14. König D., Kohl J., Jerger S., Centner C. Potential relevance of bioactive peptides in sports nutrition // Nutrients. – 2021. – Vol. 13. – P. 3997. https://doi.org/10.3390/nu13113997.

15. Shevkani K., Singh N., Patil C., Awasthi A., Paul M. Antioxidative and antimicrobial properties of pulse proteins and their applications in gluten-free foods and sports nutrition // Journal of Food Science and Technology. – 2022. – Vol. 57. – P. 5571-5584. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04873-6.
16. Alfheeaid H.A., Barakat H., Althwab S.A., Musa K.H., Malkova D. Nutritional and physicochemical characteristics of innovative high energy and protein fruit- and date-based bars // Foods. – 2023. – Vol. 12. – P. 2777. https://doi.org/10.3390/foods12142777.
17. López-Martínez M.I., Miguel M., Garcés-Rimón M. Protein and sport: Alternative sources and strategies for bioactive and sustainable sports nutrition // Frontiers in Nutrition. Section: Sport and Exercise Nutrition. – 2022. – Vol. 9. – P. 926043. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.926043.

Материал редакцияға 10.12.25 түсті, 18.03.26 қабылданды.

Қ.Т. Хасен[1], Г.К. Кузембаева[1], К.К. Кузембаев[1], Д.А. Тлевлесова[1], А.Н. Есенгазиева[1]

[1]Алматинский Технологический университет, Алматы, Казахстан

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СПОРТИВНОГО БАТОНЧИКА НА ОСНОВЕ ПРОРОЩЕННОГО ПРОСА

Аннотация. Представлены результаты разработки функционального спортивного батончика на основе пророщенного проса с добавлением белковых и функциональных компонентов. В ходе исследований установлено, что продукт формируется без использования легкоусвояемых сахаров и характеризуется устойчивой структурой после термической обработки. Экспериментально показано, что твердость готовых батончиков находится в диапазоне 39-55 Н, влагоудерживающая способность составляет 13,0-17,3%, а органолептическая оценка – 6,9-8,7 балла по 9-балльной шкале. Полученные значения свидетельствуют о формировании плотной, но не излишне жёсткой структуры и удовлетворительной потребительской приемлемости изделия. Установлено, что включение инулина способствует повышению функциональной направленности продукта за счёт увеличения доли пищевых волокон и стабилизации текстуры. Добавление комплекса электролитов (Ca, P, Na, K) ориентировано на компенсацию минеральных потерь при физической нагрузке. Совокупность полученных результатов позволяет рассматривать разработанный батончик как функциональный продукт спортивного питания, пригодный для использования в качестве перекуса лицами с повышенной физической активностью.

Ключевые слова: спортивное питание, функциональные продукты, просо, батончик, пищевая ценность.

K.T. Khassen[1], G.K. Kuzembayeva[1], K.K. Kuzembayev[1], D.A. Tlevlessova[1], A.N. Yessengaziyeva[1]

[1]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

DEVELOPMENT OF A FUNCTIONAL SPORTS BAR BASED ON SPROUTED MILLET

Abstract. The results of the development of a functional sports bar based on sprouted millet with the addition of protein and functional components are presented. During the research, it was found that the product is formed without the use of easily

digestible sugars and is characterized by a stable structure after heat treatment. Experiments have shown that the hardness of the finished bars is in the range of 39-55 N, the moisture retention capacity is 13.0-17.3%, and the organoleptic rating is 6.9-8.7 points on a 9-point scale. The obtained values indicate the formation of a dense but not excessively rigid structure and satisfactory consumer acceptability of the product. It has been established that the inclusion of inulin contributes to an increase in the functional orientation of the product by increasing the proportion of dietary fiber and stabilizing the texture. The addition of a complex of electrolytes (Ca, P, Na, K) is aimed at compensating for mineral losses during physical activity. The combination of the results obtained allows us to consider the developed bar as a functional sports nutrition product suitable for use as a snack by people with increased physical activity.

Keywords: sports nutrition, functional products, millet, bar, nutritional value.

ҒТАМР 65.59.29

Г.Е. Аубакирова[1] – *негізгі автор*,
Н.А. Еріш[2], Т.А Мухамедов[3], А.А. Кульпиисова[4]

[1]*Аға оқытушы,* [4]*Профессор ассистенті*

ORCID [1]*https://orcid.org/0009-0006-3072-7245* [2]*https://orcid.org/0000-0002-4494-4885*
[3]*https://orcid.org/0009-0004-8441-6691* [4]*https://orcid.org/0009-0002-1160-3336*

[1,2,3,4]*А. Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті,*
Қостанай, Қазақстан

[1]*aubakirova.10.67@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/OBSG2261

ҚАРАҚҰМЫҚ ҰНЫ МЕН КЕБЕКТЕН АШЫТҚЫСЫЗ ДАЙЫНДАЛАТЫН НАН-ТОҚАШ ӨНІМДЕРІН ДАЙЫНДАУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

Аңдатпа. Бұл жұмыста қарақұмық ұны мен кебек қосылған ашытқысыз нан-тоқаш өнімдерін дайындау технологиясы қарастырылған. Зерттеу барысында дәстүрлі бидай ұнының бір бөлігін қарақұмық ұнымен және кебекпен алмастырудың қамырдың құрылымына, органолептикалық көрсеткіштеріне және өнімнің тағамдық құндылығына әсері анықталды. Нәтижесінде дәстүрлі ашытқысыз әдіспен дайындалған өнімдердің құрамында тағамдық талшықтар мен минералды заттардың мөлшері артатыны және олардың адам ағзасына пайдалы әсері бар екені көрсетілді.

Тірек сөздер: қарақұмық ұны, кебек, ашытқысыз нан, нан-тоқаш өнімдері, дайындау технологиясы.

Аубакирова, Г.Е. Қарақұмық ұны мен кебектен ашытқысыз дайындалатын нан-тоқаш өнімдерін дайындау технологиясы [Мәтін] / Г.Е. Аубакирова, Н.А. Еріш, Т.А Мухамедов, А.А. Кульпиисова // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.132-138. https://doi.org/10.55956/OBSG2261

Кіріспе. Қазіргі кезде жоғары тағамдық және биологиялық құндылыққа ие нан-тоқаш өнімдерін өндіру мен өңдеу технологияларын жетілдіруге ерекше көңіл бөлінуде. Сол бағыттардың бірі – дәстүрлі емес шикізатты, атап айтқанда, қарақұмық ұны мен кебекті пайдалану болып табылады. Қарақұмық ұнының құрамында жеңіл сіңірілетін ақуыздар, В тобының дәрумендері, минералды заттар мен антиоксиданттар мол. Ал кебек тағамдық талшықтарға бай, олар ас қорыту жүйесін жақсартып, ағзадан зиянды заттарды шығаруға ықпал етеді.

Ашытқысыз нан-тоқаш өнімдерін өндіру технологиясын зерттеу ерекше қызығушылық тудырады. Мұндай әдіс дайын өнімдегі қант пен қышқылдың мөлшерін азайтып, диеталық қасиеттерін арттыруға мүмкіндік береді және ашытқыны көтере алмайтын адамдар үшін қолайлы. Бұл ретте өнімнің кеуектілігі, дәмі мен хош иісін сақтау үшін рецептуралық құрам мен технологиялық режимдерді дұрыс таңдау маңызды.

Сондықтан қарақұмық ұны мен кебектен дрожжасыз нан-тоқаш өнімдерін дайындау технологиясын зерттеу – дәстүрлі нан пісіру тәсілдерін

салауатты тамақтану талаптарымен ұштастыратын өзекті бағыт болып табылады.

Қарақұмық наны – жарқын хош иісі мен жеңіл жаңғақ дәмі бар глютенсіз өнім. Органолептикалық қасиеттері бойынша ол әдеттегі нан өнімдерінен айтарлықтай ерекшеленеді.

Қарақұмық ұнында глютен болмағандықтан, ол қамырға ерекше құрылым береді. Соның нәтижесінде қамыр біртекті болып, үгіндісі әдемі әрі серпімді болады.

Қарақұмық наны глютенсіз нанның ең оңай нұсқасы. Ашытқысыз қарақұмық наны қытырлақ және жұмсақ, ұсақталған үгінділермен дайындалады. Ол құрылымы жағынан жеткілікті тығыз, қанығу үшін нанның бір кішкентай бөлігі жеткілікті.

Берілген нан түрін дайындау үшін глютенсіз қарақұмық ұны қолданылады. Бастапқы шикізат ретінде кофетартқыш немесе жоғары өнімді ұсақтағыш жабдықты қолдану арқылы ұсақталатын қарақұмық жармасы пайдаланылады.

Ұсақтау алдында жарма мұқият жуылып, өзіне тән жаңғақ хош иісіне жеткенге дейін кептіріледі. Одан кейін ол ұн күйіне дейін ұсақталады. Алынған ұнды елеу міндетті емес, себебі ірі тартылған бөлшектердің болуы дайын нанның органолептикалық көрсеткіштеріне елеулі әсер етпейді [1].

Мақсаты: Қарақұмық ұны мен кебекті пайдалана отырып, ашытқысыз нан-тоқаш өнімдерін өндіру технологиясын зерттеу және жетілдіру, олардың тағамдық, биологиялық және функционалды қасиеттерін арттыру, сондай-ақ органолептикалық көрсеткіштерін сақтау арқылы денсаулыққа пайдалы өнімдер алу.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Зерттеудің міндеттері:

– Қарақұмық ұнының физика-химиялық қасиеттерін зерттеу;

– Қарақұмықтан дайындалған нан өнімінің органолептикалық сипаттамаларын бағалау;

– Глютенсіз нанның құрылымы мен дәмдік сапасын талдау;

– Қарақұмық нанының тағамдық және энергетикалық құндылығын анықтау.

Зерттеу объектілері:

– Қарақұмық ұны;

– Жұмыртқа, су, тұз (қосалқы ингредиенттер);

– Қарақұмық нанының тәжірибелік үлгілері;

– Сапаны бағалауға арналған әдістемелер мен стандарттар.

Физика-химиялық көрсеткіштері: Ылғалдылығы, желімтіктің мөлшері мен сапасы және органолептикалық көрсеткіштері (дәмі, түсі, иісі және т.б.) жатады.

Зерттеу нысаны ретінде қарақұмық ұнының сапалық көрсеткіштері алынды, олар сәйкес нормативтік талаптарға сай. Сапа көрсеткіштері құрамындағы ақуыз, май, ылғал, минералдық заттар, антиоксиданттық белсенділік және органолептикалық параметрлерді қамтиды. Бұл көрсеткіштер қарақұмық ұнынан дайындалатын нан-тоқаш өнімдерінің тағамдық және биологиялық құндылығын бағалауға мүмкіндік береді [2].

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Нан – адамзаттың ең басты азықтарының бірі. Қазіргі таңда дұрыс әрі салауатты тамақтануға деген сұраныс артуда, сондықтан дәстүрлі бидай ұнының орнына балама, пайдалы ұн түрлерін қолдану өзекті болып отыр. Солардың бірі – қарақұмық ұны.

Қарақұмық – құрамында глютен жоқ, табиғи түрде бай тағамдық талшықтар мен минералдар көзі болып саналатын дәнді дақыл. Одан жасалатын нан өнімдері аллергиясы бар немесе глютенге сезімтал адамдар үшін таптырмас тағам болып табылады. Сонымен қатар, қарақұмық нанының гликемиялық индексі төмен, сондықтан қант диабетімен ауыратындар мен артық салмақтан арылғысы келетіндер үшін пайдалы.

Қарақұмық ұнының сипаттамасы. Қарақұмық ұны – гречка дәнін ұнтақтау арқылы алынатын өнім. Оның құрамында:

– Кешенді көмірсулар – қандағы қантты тұрақтандыруға көмектеседі,

– Ақуыз – бұлшық ет және тіндердің қалпына келуіне әсер етеді,

– В тобы дәрумендері, магний, темір, фосфор және мырыш,

– Антиоксиданттар мен флавоноидтар – ағзадағы қабыну процестерін азайтады.

Глютеннің болмауы – оның ең үлкен артықшылықтарының бірі, бірақ бұл нан дайындау кезінде қамырдың серпімділігін төмендетеді, сондықтан қосымша жұмыртқа немесе табиғи байланыстырғыштар пайдаланылады [3].

Суыту және сақтау: Нанды толықтай суытып барып кесу қажет. Тоңазытқышта немесе салқын жерде ауа өткізбейтін контейнерде 3-4 күнге дейін сақтауға болады. Ұзақ сақтау үшін мұздатуға болады.

Кесте 1

Органолептикалық көрсеткіштер

Көрсеткіш	Сипаттама
Дәмі мен иісі	Қарақұмыққа тән, сәл жаңғақ дәмі, бөгде иіссіз
Консистенциясы	Тығыз, аздап үгітілгіш, бірақ жұмсақ
Түсі	Қою қоңырдан сарғыш қоңырға дейін

Кесте 2

Энергетикалық құрамы (100 г нанға шаққанда)

Құрамы	Мөлшері
Ақуыз	9,7 г
Май	3,4 г
Көмірсулар	50,2 г
Калория	247 ккал

Кесте 3

Қарақұмық нанының пайдасы мен шектеулері

Пайдасы	Шектеулері:
1	2
Қарақұмық ұнында ақуыз, темір, магний, мырыш, В тобының дәрумендері мен антиоксиданттар көп. Бұл элементтер жүрек-қан тамырлары, жүйке және бұлшықет жүйесінің қалыпты жұмысын қолдайды	Қарақұмық ұны глютенсіз болғандықтан, қамырдың серпімділігі төмен, сондықтан нанның құрылымы тығыз әрі үгітілгіш болуы мүмкін
Қарақұмық ұнында глютен болмайды, сондықтан ол целиакия немесе глютенге сезімтал адамдарға қолайлы	Қарақұмықтың ерекше, сәл жаңғақ тәрізді дәмі бар, бұл кейбір адамдарға ұнамауы мүмкін
Қарақұмық баяу сіңірілетін көмірсуларға бай, бұл қандағы қант деңгейін бірқалыпты ұстап, ұзақ уақыт тойғандық	Табиғи және ашытқысыз дайындалған қарақұмық наны тез құрғап, сақтау мерзімі аз болады

сезімін береді	

2-кестенің жалғасы

1	2
Қарақұмық нанының құрамындағы тағамдық талшықтар ішектің жұмысын жақсартады, ас қорыту процесін реттейді және токсиндердің шығарылуына көмектеседі	Тек қарақұмық ұнынан жасалған нан ақуыз және кейбір дәрумендер бойынша бидай ұнымен аралас нандарға қарағанда сәл кедейлеу болуы мүмкін, сондықтан оны әртүрлі дәнді өнімдермен алмастырып тұру ұсынылады

Қарақұмық нанының рецептурасы. Ингредиенттер:

- Қарақұмық ұны – 500г
- Жұмыртқа – 1
- Қопсытқыш – 5г
- Қант – 28г
- Отруби – 100г
- Кефир – 200 мл
- Тұз – бір щепотка

Дайындау тәсілі:

1. Жұмыртқаны ыдысқа жарып, оған тұз, қант және май қосып жақсылап араластырамыз.
2. Қарақұмық ұнын қосып, біртіндеп кефир құйып қамыр илейміз. Қамыр аздап қою және біркелкі болуы керек.
3. Қамырды 30–40 минутқа жылы жерге қойып, "көтерілуін" күтеміз. Қарақұмық ұны ашытқысыз көтерілуі қиын болғандықтан, көбіне жұмыртқа мен сода қосылады (қалауыңызша).
4. Қалыпқа құйып, алдын ала қыздырылған пеште 180°С-та 35-40 минут пісіреміз [4].

Ең алғаш барлық керек заттарды дайындап аламыз (1-сурет).

Сурет 1. Керек ингредиенттер

Ең басында жұмытрқаға қант пен тұзды қосып араластырып аламыз (2-сурет). Содан кейін ұн, кефир, қопсытқыш қосып қою консистенция аламыз. Сонында отруб қосып мұқият араластырғаннан кейін қарақұмық ұнынан жасалатын нан қамыры дайын болады (3-сурет). Ең соңғы этап болып нан қамырын шағын қалыптарға алып 25 минутқа қызып турған пешке салу болып табылады. Содан сон дайын қарақұмық нанын аламыз (4 сурет).

Сурет 2. Жұмытрқа мен тұзбен араластырылуы

Сурет 3. Қамыр дайындау

Сурет 4. Қарақұмық наны

Жүргізілген зерттеу барысында қарақұмық ұнын пайдалана отырып дайындалған нан өнімінің тағамдық және биологиялық құндылығы жоғары екендігі анықталды. Зерттелген үлгідегі ақуыз мөлшері орташа есеппен 12-14% құрады, бұл бидай ұнынан дайындалған бақылау үлгісінен 2-3% жоғары. Минералдық заттардың массалық үлесі 1,8-2,2% шамасында болды, ал В тобы дәрумендерінің (В1, В2, В6) құрамындағы мөлшері физиологиялық тұрғыдан маңызды көрсеткіштер аясында болды.

Өнімнің антиоксиданттық белсенділігі эталондық көрсеткішпен салыстырғанда 35-45% құрады, бұл биологиялық белсенді қосылыстардың бар екенін көрсетеді. Құрамында глютеннің жоқтығы (0,01%-дан кем) осы өнімді целиакия немесе глютенге төзбеушілігі бар адамдардың рационында қолдануға мүмкіндік береді [].

Органолептикалық бағалау бойынша өнімнің сыртқы көрінісі мен түсі талаптарға сәйкес келетіндігі анықталды, алайда ішкі құрылымы жоғары тығыздыққа ие (0,45-0,55 г/см³) және сәл үгітілгіш сипатта болды. Өнімнің қуысы 55-60% құрады, бұл дәстүрлі бидай нан өнімдерінің 65-75% көрсеткішінен төмен.

Аталған құрылымдық ерекшеліктер глютендік каркас жоқтығымен байланысты екені анықталды. Сондықтан өнімнің текстуралық қасиеттерін жақсарту үшін ұн массасының 1-3% мөлшерінде табиғи құрылым түзуші компоненттерді (тағамдық талшықтар, камедьдер, пектиндер) қолдану ұсынылады.

Осылайша, алынған нәтижелер қарақұмық ұнын пайдалана отырып функционалды және диеталық нан өнімдерін өндіру мүмкіндігін, олардың жоғары тағамдық құндылыққа және қанағаттанарлық органолептикалық қасиеттерге ие екендігін растады.

Қорытынды. Қарақұмық ұнынан жасалған нан – қазіргі таңда дұрыс тамақтануға ұмтылатын адамдар үшін пайдалы әрі балама өнім. Оның құрамындағы ақуыздар мен минералдар адам ағзасына қажетті заттарды толықтырып, денсаулықты нығайтуға септігін тигізеді. Сонымен қатар, глютенсіз болуы оны ерекше етеді.

Бұл нан түрі үй жағдайында оңай дайындалады және өндірістік технологиялар арқылы одан әрі жетілдіру мүмкіндігі бар. Болашақта қарақұмық нанын өнеркәсіптік жолмен өндіру – салауатты тамақ өнімдерінің қатарын кеңейтетін бағыттардың бірі болары сөзсіз.

Глютеннің болмауына байланысты қарақұмық наны глютенге төзімсіз немесе салауатты тамақтануды ұстанатын адамдар үшін қолайлы.

Дегенмен, мұндай нанды өндіруде белгілі бір технологиялық қиындықтар бар – глютеннің болмауы қамырдың серпімділігін төмендетіп, дайын өнімнің құрылымын тығыз және сақтау мерзімін қысқа етеді.

Кейбір шектеулерге қарамастан, қарақұмық наны функционалдық және диеталық нан-тоқаш өнімдерінің ассортиментін кеңейтуге арналған болашағы зор өнім болып табылады.

Әдебиеттер тізімі

1. Сейітов И. Нан және нан өнімдері технологиясы [Текст] / И. Сейітов. – Алматы: Мектеп, 2017. – 312 б.
2. Ахметова Г.Ш. «Қарақұмық ұнының тағамдық құндылығы және функционалды қасиеттері» [Текст] / Г.Ш. Ахметова // Тағам және денсаулық журналы. – 2020. – №2. – Б. 18–23.
3. Дүйсенбекова Р.Б. Тағам өнімдерінің сапасы мен қауіпсіздігі [Текст] / Р.Б. Дүйсенбекова. – Алматы: Қазақ университеті, 2020. – 204 б.
4. Назарбекова Ж.Т., Төлеуова С.Т. «Глютенсіз ұн түрлерінің наубайхана өнімдеріне әсері» [Текст] / Ж.Т. Назарбекова, С.Т. Төлеуова // Аграрлық ғылымдар журналы. – 2023. – №1 (85). – Б. 39–44.
5. Пащенко Л.П. Технология хлебопекарного производства [Текст] / Л.П. Пащенко. – М.: Колос, 2018. – 352 с.
6. Капрельянц Л.В., Шубина Л.П. Технология хлебопекарного производства [Текст] / Л.В. Капрельянц, Л.П. Шубина. – Одесса: Друк, 2019. – 280 с.
7. Касьянов Г.И. Технология хлеба, хлебобулочных и мучных кондитерских изделий [Текст] / Г.И. Касьянов. – М.: Колос, 2019. – 480 с.

Материал редакцияға 09.12.25 түсті, 20.03.26 қабылданды.

Г.Е. Аубакирова, Н.А. Еріш, Т.А Мухамедов, А.А. Кульпиисова

[1]Костанайский региональный университет им. А. Байтұрсынұлы, Қостанай, Казахстан

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ГРЕЧНЕВОЙ МУКИ И ОТРУБЕЙ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРОЖЖЕВОЙ ЗАКВАСКИ

Аннотация. В данной работе рассмотрена технология приготовления хлебобулочных изделий без дрожжей с добавлением гречневой муки и отрубей. В ходе исследования было определено влияние замены части традиционной пшеничной муки на гречневую муку и отрубями на структуру теста, органолептические показатели и пищевую ценность продукта. В результате установлено, что изделия, приготовленные традиционным бездрожжевым

способом, содержат больше пищевых волокон и минеральных веществ, что оказывает благоприятное влияние на организм человека.

Ключевые слова: гречневая мука, отруби, бездрожжевой хлеб, хлебобулочные изделия, технология приготовления.

G.E. Aubakirova[1], N.A. Yerish[1], T.A. Mukhamedov[1], A.A. Kulpiyisova[1]

[1]A. Baitursynuly Kostanay Regional University, Kostanay, Kazakhstan

TECHNOLOGY OF PRODUCING BAKERY PRODUCTS FROM BUCKWHEAT FLOUR AND BRAN WITHOUT USING YEAST STARTER

Abstract. This paper examines the technology for producing yeast-free bakery products with the addition of buckwheat flour and bran. The study determined the effect of replacing part of the traditional wheat flour with buckwheat flour and bran on the dough structure, organoleptic characteristics, and nutritional value of the product. As a result, it was found that products prepared using the traditional yeast-free method contain more dietary fiber and minerals, which have a beneficial effect on t he human body.

Keywords: buckwheat flour, bran, yeast-free bread, bakery products, production technology.

References

1. Seiytov I. Nan zhane nan onimderi texnologiyasy [Bread and Bakery Products Technology]. – Almaty: Mektep, 2017. – 312 p. [in Kazakh].
2. Akhmetova G.Sh. «Karakumik unynyn tagamdyk kundiligi zhane funksionaldy kasietteri» [Nutritional Value and Functional Properties of Buckwheat Flour] // Tagam zhane densaulyk zhurnaly. – 2020. – №2. – P. 18-23. [in Kazakh].
3. Duysenbekova R.B. Tagam onimderinin sapasy men kauipsizdigi [Quality and Safety of Food Products]. – Almaty: Kazakh University, 2020. – 204 p. [in Kazakh].
4. Nazarbekova Zh.T., Toleuova S.T. «Glyutensiz un turlerini naubaykhana onimderine aseri» [Effect of Gluten-Free Flour Types on Bakery Products] // Agrarlyq gylymdar zhurnaly. – 2023. – №1 (85). – P. 39–44. [in Kazakh].
5. Pashchenko L.P. Tekhnologiya khlebopekarnogo proizvodstva [Technology of Bread Baking Production]. – M.: Kolos, 2018. – 352 p. [in Russian].
6. Kaprelyants L.V., Shubina L.P. Tekhnologiya khlebopekarnogo proizvodstva [Technology of Bread Baking Production]. – Odessa: Druk, 2019. – 280 p. [in Russian].
7. Kasyanov G.I. Tekhnologiya khleba, khlebobulochnykh i muchnykh konditerskikh izdeliy [Technology of Bread, Bakery and Flour Confectionery Products]. – M.: Kolos, 2019. – 480 p. [in Russian].

МРНТИ 64.31.29

Н.А. Аташикова[1] – *основной автор*,
А.С. Рафиков[2], К.З. Юнусов[3],
Э. Рамазан[4], А.М. Азимов[5]

©

[1]Докторант, [2]Д-р хим. наук, [3]Канд, техн. наук, [4]PhD, ассоц. профессор, [5]PhD

ORCID
[1]https://orcid.org/0009-0006-9976-4845 [2]https://orcid.org/0000-0002-0638-6296
[3]https://orcid.org/0000-0001-9316-0895 [4]https://orcid.org/0000-0003-2810-8294
[5]https://orcid.org/0000-0002-1316-5854

[1,5]Южно-Казахстанский исследовательский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
[2,3]Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Ташкент, Республика Узбекистан
[4]Университет Акдениз, Анталия, Турция

@ *[1]atashikova_nargi@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/UTYH1912

МОДИФИКАЦИЯ ТРИКОТАЖНОГО ПОЛОТНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИМЕРНОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА В SMART ТЕКСТИЛЕ

Аннотация. В настоящее время умный текстиль занимает важное место в текстильной индустрии и находит применение в разных технических сферах, таких как медицина, архитектура, спорт и специальные одежды. В рамках этой идеи оптические волокна квалифицируются как пассивный умный текстиль и весьма интересны для освещения одежды, а также для контроля трения и давления в одежде. Целью данного исследования является определение возможности получения светоотражающего трикотажного полотна с повышенной механической прочностью. Получены три варианта хлопчатобумажных трикотажных полотен с внедрением полимерного оптического волокна в виде мононити полиметилметакрилата. В одном из вариантов оптическое волокно вводится в качестве уточной нити между петельными рядами, в двух других участвует в петлеобразовании. Обнаружено существенное возрастание физико-механических свойств полотна при введении полимерного оптического волокна.

Ключевые слова: трикотаж, плюшевое переплетение, полимерное оптическое волокно, уточная нить, прочность, истирание.

Аташикова, Н.А. Модификация трикотажного полотна с использованием полимерного оптического волокна в smart текстиле [Текст] / Н.А. Аташикова, А.С. Рафиков, К.З. Юнусов, Э. Рамазан, А.М.Азимов // Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №1(91). – С.139-147. https://doi.org/10.55956/UTYH1912

Введение. В течение нескольких лет SMART текстиль являлся быстро развивающейся технологией и его рынок расширялся. Оптические волокна могут быть включены в эти ткани в роли датчиков для разных целей, включая анализ положения, занятость сидений в автомобильном секторе и мониторинг конструкций в гражданском строительстве [1]. Однако в мире медицинского текстиля эти материалы представляют наибольший интерес. Умный текстиль

используется в различных мониторинговых и терапевтических применениях в области здоровья и благополучия, что позволяет включать измерение физиологических показателей в обыденную жизнь или конкретную деятельность [2].

Имеется разные методы создания SMART текстиля для благоприятных условий и здорового образа жизни [3]. Датчики, которые применяются в текстиле, могут быть произведены из пьезоэлектрических либо пьезорезистивных материалов [4]. Применение оптических волокон ввиду их сенсорных качеств открывает новые перспективы в сфере умного текстиля, но ему уделяется меньше внимания, нежели пьезорезистивному эффекту [5].

Известно, что сенсор, используемый на теле человека, должен быть не только удобным для продолжительного ношения, но и не затруднять его обычную жизнедеятельность. По мнению авторов [6], для этих целей прекрасно подходят волоконно-оптические полимерные датчики. Полимерные волоконно-оптические сенсоры обладают высокой гибкостью при изгибе и выдерживают большие деформационные нагрузки. В качестве полимерных оптических волокон часто применяют полидиметилсилоксан, полиметилметакрилат, мягкое стекло, полиперфторбутенилвинил и др. [7,8]. Установлено, что полимерные оптические волокна, изготовленные из этих материалов, обладают отличной биосовместимостью и коррозионной стойкостью, а изначальные характеристики сохраняются даже после долгого использования. Авторы работы [9] свидетельствуют об удовлетворительном применении полимерных оптических волокон для мониторинга сердечного ритма и кровотока. Показано, что коэффициент оптического трения ткани с ПОВ значительно ниже, чем у традиционного медицинского белья.

Авторы [10] сообщили о вмонтированном в спортивную одежду оптоволоконном сенсоре, дающем возможность отслеживать движение локтевого сустава человека по перемещению туловища. Эта бесконтрольная система мониторинга в реальном времени была апробирована для удачного отслеживания ударов в гольфе.

В работе [11] показана возможность использования полимерных волоконно-оптических датчиков для мониторинга и контроля сгибания суставов пальцев, кистей и коленей. По убеждению авторов, именно этот сенсор будет повсеместно использоваться в некоторых видах спорта, лечении суставов и мониторинге тремора при болезни Паркинсона.

Авторы труда [12] доложили об успешном применении полимерных оптических волокон для полноценного наблюдения за температурой тела, пульсом и частотой дыхания. Вероятность использования полимерных оптических волокон для регулировки температуры тела, дыхания и частоты сердечных сокращений подтверждена этими авторами в ином труде [13].

На данный момент при помощи оптических волокон можно контролировать спектр физиологических показателей, включая давление, пульс, пульсоксиметрию и частоту дыхания [14]. Фактически, некоторые полимерные оптические волокна (ПОВ) обладают рядом полезных свойств, таких как высокая гибкость, что упрощает интеграцию в текстильные изделия [15]. ПОВ могут быть включены в текстильные изделия путем ткачества, строчки и вышивки, что продемонстрировали некоторые исследования [16]. Но лишь незначительное количество исследований [17] посвящено включению ПОВ в трикотажные архитектуры.

Целью данного исследования является определение возможности получения светоотражающего трикотажного полотна с повышенной механической прочностью.

Условия и методы исследований. В исследованиях использована хлопковая пряжа с линейной плотностью 20 текс и оптическое волокно – мононить диаметром 0,25 мм из полиметилметакрилата.

Текстиль – это трехмерная форма, созданная путем вязания петель. Петли пряжи, составляющие трикотажное полотно, соединяются между собой. Трикотажное переплетение это порядок расположения, а повторяющаяся часть трикотажного переплетения называется раппортом. Вид трикотажного переплетения заметно влияет на его структуру, характеристику и внешний вид полотна.

Для достижения цели получены три варианта полотен с полимерным оптическим волокном:

1. Оптическое волокно внедряется в структуру трикотажного переплетения в виде уточной нити (рис. 1a).
2. Оптическое волокно участвует в петлеобразовании полотна в простом переплетении (рис. 1b).
3. Оптическое волокно участвует в петлеобразовании полотна плюшевого переплетения (рис. 1c).

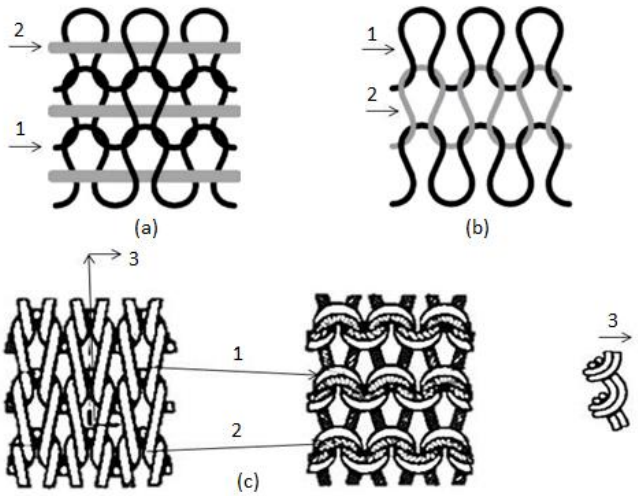


Рис. 1. Примеры вязаной структуры: (a) простое переплетение с оптическим волокном в качестве уточной нити (1 – хлопковая пряжа, 2 – оптическое волокно); (б) оптическое волокно участвует в простом переплетении (1 – хлопковая пряжа, 2 – оптическое волокно); (c) оптическое волокно участвует в плющевом переплетении (1 – оптическое волокно, 2 – хлопковая пряжа, 3 – плюшевый узел)

Исследования физико-механических свойств полученных материалов проведены в сертификационном центре «CENTEXUZ» Ташкентского института текстильной и легкой промышленности, температура в помещении – 20±3°C, относительная влажность воздуха – 65±5%.

Испытания устойчивости тканей к истиранию проводились на специальном приборе МТ-194. Пробу ткани в виде кружка диаметром (85±2) мм помещают между абразивными дисками прибора под давлением из расчета

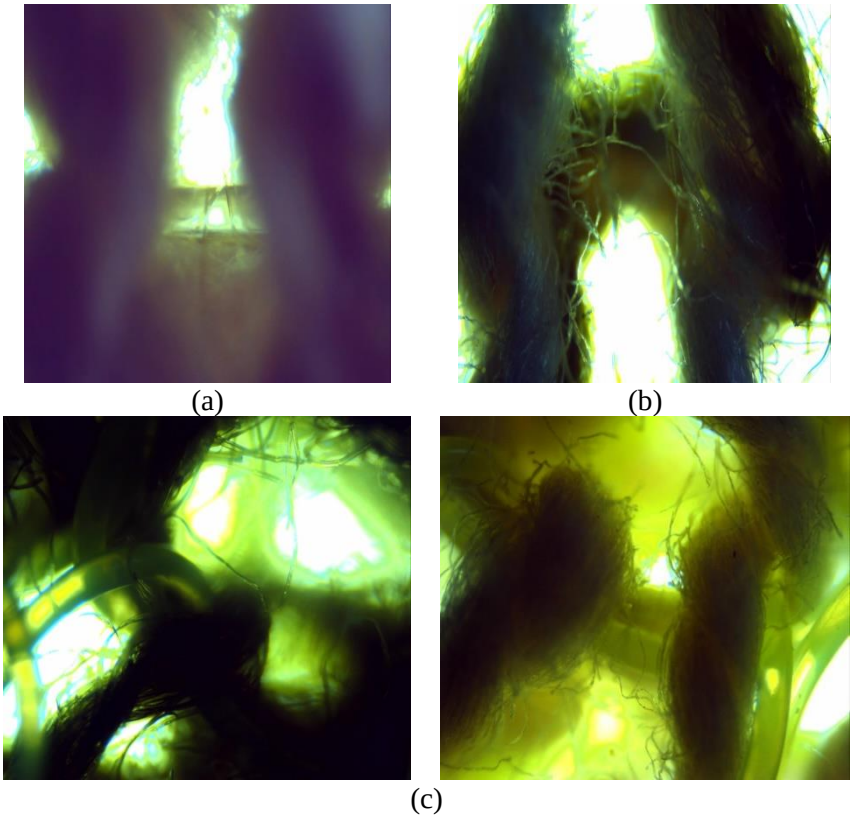
1 кгс/см. В плоскости касания пробы с абразивом они совершают планетарное движение. При появлении дыры на поверхности образца прибор автоматически остановиться, снимают показания счетчика количеством циклов на истирание.

Определение разрывной нагрузки и относительного удлинения образцов проводили на приборе AG-1, предназначенном для измерения разрывных характеристик тканей, нитей и других текстильных изделий. При испытании тканей образцы по основе и утку режут в виде полос размером 300×50 мм.

Увеличенные изображения образцов полотен сняты цифрового usb микроскопа «Optika mikroscopes B-150».

Морфология поперечного сечения трикотажного полотна с ПОВ исследована с помощью растрового электронного микроскопа JSM-6490 LV (Япония).

Результаты исследований и их обсуждение. В одном из вариантов модифицированного трикотажного полотна петлеобразующая основа изготовлена только из хлопчатобумажной пряжи. Оптическое волокно представляет собой мононить диаметром 0,25 мм с гладкой поверхностью. Оптическая нить в качестве уточной нити размещается между петельными рядами (рис. 2а). Уточная нить может подаваться в каждый петельный ряд или через определенный промежуток в соответствии с заданной программой.



(а) простое переплетение с оптическим волокном в качестве уточной нити; (б) оптическое волокно участвует в простом переплетении; (с) оптическое волокно участвует в плющевом переплетении.

Рис. 2. Увеличенные изображения полотен

Внедрение ПОВ в качестве петлеобразующего элемента вызывает некоторые затруднения (рис. 2b и 2c). По структуре и толщине ПОВ резко отличает от хлопковой пряжи (рисунок 3). Хлопковая пряжа состоит из пучка целлюлозных волокон, тогда как, ПОВ представляет очень толстую монолитную нить.

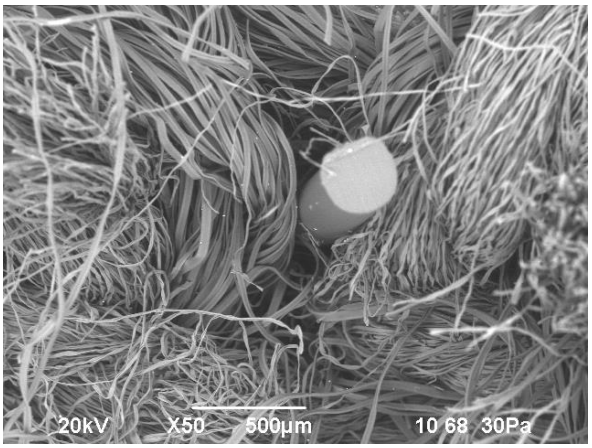


Рис. 3. Морфология поперечного сечения трикотажного полотна с полимерным оптическим волокном

Как видно из рисунка 3, нить хлопковой пряжи имеет диаметр примерно 400-500 мкм и состоит из множества целлюлозных волокон диаметром 14-18 мкм. В процессе вязания пряжа претерпевает растяжение вследствие тяги, изгиба и трения о металлические части машины [19]. Пряжа резко скручивается, создавая петлю на вязаном полотне. Длина стежка и толщина иглы определяют кривизну, которой подвергается пряжа в ходе работы. Но применение оптического волокна требует особого подхода к выбору иглы и способа вязания. ПОВ будучи существенно толстым и малоупругим затрудняет процесс формирования полотна. Поэтому первый вариант является более приемлемым по технологии изготовления трикотажного полотна. Еще одним плюсом полотна с уточной нитью является то, что во время процесса вязания нить испытывает меньшее напряжение и трение, нежели основная петлеобразующая пряжа. А по физико-механическим свойствам он уступает двум другим образцам (табл. 1).

Таблица 1

Физико-механические свойства трикотажных тканей с ПОВ

Образцы	Прочность к истиранию	Разрывная сила, Н		Удлинение, %	
		По ширине	По длине	По ширине	По длине
Полотно без ПОВ	16800	381	240	156	354
Полотно с ПОВ в качестве уточной нити	28500	более 1000	255	125	370
Полотно простого переплетения с ПОВ	более 35000	более 1000	более 1000	113	420
Полотно плюшевого переплитения с ПОВ	более 35000	более 1000	более 1000	85	550

Как видно из данных таблицы, все полотна с ПОВ имеют существенно высокие физико-механические свойства по сравнению с полотном без ПОВ. В случае внедрения ПОВ в качестве уточной нити оно размещается между петельными рядами почти прямолинейно вдоль ширины полотна. Отсюда прочность по ширине этого образца намного больше, чем по длине. ПОВ в виде уточной нити не оказывает влияние на разрывную прочность по длине. Как и ожидалось, когда ПОВ участвует в петлеобразовании как в случае простого, так и плющевого переплетения, прочность полотна многократно возрастает и по длине, и по ширине. Эти полотна не разрываются до предельной нагрузки разрывной машины.

Во всех вариантах с ПОВ относительное удлинение по ширине возрастает по сравнению с самим трикотажным полотном. Такой же показатель по ширине, наоборот снижается, но остается высоким, что характерно для трикотажных полотен.

Прочность к истиранию полотна с уточной нитью ПОВ в 1,7 раза больше, а в двух других вариантах в несколько раз больше, чем самого трикотажного полотна. Этого следовало ожидать, т.к. толстые нити синтетического полимера очень устойчивы к истиранию. Таким образом, достигнуто существенное увеличение механической прочности и прочности к истиранию с введением ПОВ в структуру трикотажного полотна.

Несколько лет назад начали производить электронный текстиль, часто известный как «умный текстиль», и некоторые из них предлагаются в настоящее время. Благодаря своим небольшим размерам и цилиндрической форме оптические волокна, применяемые в качестве датчиков в этой отрасли, обладают рядом преимуществ [25].

Тремя главными применениями оптических волокон являются передача данных, излучение света и зондирование. Оптические волокна представляют собой световоды, которые могут передавать световые сигналы на протяженности от нескольких сантиметров до многих километров. Используемое волокно зависит от применения; должен быть баланс оптических и механических свойств, что является предметом наших исследований оптических волокон в качестве датчиков [25-28]. Однако в зависимости от используемого основного полимера ПОФ могут быть в известной степени гибкими и податливыми [29].

В данной работе исследовано светоотражающее свойство ПОВ. На рисунке 4 видно отражение света при освещении трикотажного полотна с ПОВ в темное время сутки. Отражающим элементов является именно ПОВ, которое имеет светлооранжевый цвет.

Рис. 4. Эффект светоотражения трикотажного полотна с ПОВ (лист 1)

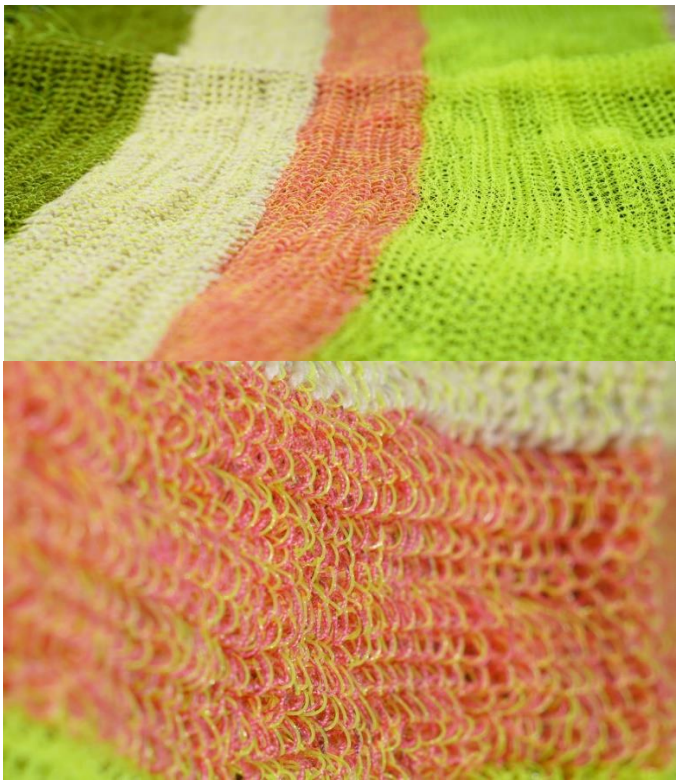


Рис. 4. Эффект светоотражения трикотажного полотна с ПОВ (лист 2)

При освещении в ночное время полученный материал высвечивается, поэтому можно использовать как защитный элемент специальной одежды.

Заключение. Получены трикотажные полотна с включением полимерного оптического волокна в виде мононити из полиметилметакрилата диаметром 0,25 мм. Технологически удобным способом введения полимерной нити в структуру полотна является закладывание его в петельные ряды в качестве уточной нити. Чрезмерная толщина и ограниченная упругость полимерной нити затрудняет процесс петлеобразования, поэтому процесс формирования полотна требует особого подхода к выбору его дизайна и технологических режимов, иглы трикотажного станка. Получены полотна простого и плющевого переплетения, в которых полимерная нить участвует в петлеобразовании в сочетании с хлопковой пряжей. Полученные полотна имеют высокую механическую прочность при растяжении, устойчивость к истиранию, и отличается светоотражающей способностью.

Список литературы

1. Bremer, K., Weigand, F., Zheng, Y., et al. Structural health monitoring using textile reinforcement structures with integrated optical fiber sensors // Sensors. – 2017. – Vol. 17. – P. 345.
2. Nag, A., Mukhopadhyay, S. C., Kosel, J. Wearable flexible sensors: A review // IEEE Sensors Journal. – 2017. – Vol. 17. – P. 3949-3960.
3. Mokhlespour Esfahani, M. I., Taghinezhad, S., Mottaghitalab, V., et al. Novel printed body worn sensor for measuring the human movement orientation // Sensor Review. – 2016. – Vol. 36. – P. 321-331.

4. Afzal, A., Drean, J.-Y., Harzallah, O., et al. Development of multifunctional different cross-sectional shaped coaxial composite filaments for smart textile applications // Textile Research Journal. – 2017. – Vol. 87. – P. 1991-2004.
5. Yang, J.-H., Cho, H.-S., Lee, J. H. An analysis on the luminance efficiency of the machine embroidery method applied to flexible plastic optical fiber for realization of the textile display // Textile Research Journal. – 2018. – Vol. 88. – P. 1466-1478.
6. Zhao, Y., Lin, Z., Dong, S., et al. Review of wearable optical fiber sensors: Drawing a blueprint for human health monitoring // Optics & Laser Technology. – 2023. – Vol. 161. – P. 109227.
7. Leal-Junior, A. G., Marquez, C., Frizera, A., et al. Dynamic mechanical analysis on a polymethyl methacrylate (PMMA) polymer optical fiber // IEEE Sensors Journal. – 2018. – Vol. 18, No. 6. – P. 2353-2361.
8. Liu, Z., Stephens, V. Exploring innovation ecosystem from the perspective of sustainability: Towards a conceptual framework // Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. – 2019. – Vol. 5. – P. 48.
9. Quandt, B. M., Braun, F., Ferrario, D., et al. Body-monitoring with photonic textiles: A reflective heartbeat sensor based on polymer optical fibres // Journal of the Royal Society Interface. – 2017. – Vol. 14, No. 128. – P. 20170060.
10. Koyama, Y., Nishiyama, M., Watanabe, K. Motion monitoring using hetero-core optical fiber sensors sewn into sportswear to trace trunk motion // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2013. – Vol. 62, No. 4. – P. 828-836.
11. Li, L., He, R., Soares, M. S., et al. Embedded FBG-based sensor for joint movement monitoring // IEEE Sensors Journal. – 2021. – Vol. 21, No. 23. – P. 26793-26798.
12. Nedoma, J., Fajkus, M., Martinek, R., et al. Non-invasive fiber-optic biomedical sensor for basic vital sign monitoring // Advances in Electrical and Electronic Engineering. – 2017. – Vol. 15, No. 2. – P. 336-342.
13. Fajkus, M., Nedoma, J., Martinek, R., et al. A non-invasive multichannel hybrid fiber-optic sensor system for vital sign monitoring // Sensors. – 2017. – Vol. 17, No. 1. – P. 111.
14. Leal-Junior, A. G., Díaz, C. R., Leitão, C., et al. Polymer optical fiber-based sensor for simultaneous measurement of breath and heart rate under dynamic movements // Optics & Laser Technology. – 2019. – Vol. 109. – P. 429-436.
15. Zeng, W. Polymer optical fiber for smart textiles // In: Handbook of Smart Textiles / Ed. by X. Tao. – Singapore: Springer, 2015. – P. 109-125.
16. Quandt, B. M., Pfister, M. S., Lubben, J. F., et al. POF-yarn weaves: Controlling the light out-coupling of wearable phototherapy devices // Biomedical Optics Express. – 2017. – Vol. 8. – P. 4316-4330.
17. Oscarsson, L., Jacobsen Heimdal, E., Lundell, T., et al. Flat knitting of a light emitting textile with optical fibres // Autex Research Journal. – 2009. – Vol. 9. – P. 61-65.

Материал поступил в редакцию 22.09.25, принят 19.01.26.

Н.А. Аташикова[1], А.С. Рафиков[2], К.З. Юнусов[2], Э. Рамазан[3], А.М. Азимов[1]

[1]М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті, Шымкент, Қазақстан
[2]Ташкент тоқыма және жеңіл өнеркәсіп институты, Ташкент, Өзбекстан Республикасы
[3]Ақдениз университеті, Анталия, Түркия

SMART ТОҚЫМА БҰЙЫМДАРЫНДА ПОЛИМЕРЛІ ОПТИКАЛЫҚ ТАЛШЫҚТЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП ТОҚЫЛҒАН МАТАНЫ ӨЗГЕРТУ

Аңдатпа. Қазіргі уақытта тоқыма өнеркәсібінде ақылды тоқыма маңызды орын алады және медицина, сәулет, спорт және арнайы киім сияқты түрлі техникалық

салаларда қолданылады. Осы тұжырымдама аясында оптикалық талшықтар пассивті ақылды тоқыма ретінде жіктеледі және киімді жарықтандыру үшін, сондай-ақ киімдегі үйкеліс пен қысымды бақылау үшін үлкен қызығушылық тудырады. Бұл зерттеудің мақсаты механикалық беріктігі жоғары жарық шағылыстыратын тоқылған матаны алу мүмкіндігін анықтау болып табылады. Полиметилметакрилат моножіп түріндегі полимерлі оптикалық талшықты енгізе отырып, мақта-мата тоқылған маталардың үш нұсқасы алынды. Нұсқалардың бірінде оптикалық талшық ілмек қатарлары арасында арқау жіп ретінде енгізіледі, қалған екеуінде ол ілмек түзілуіне қатысады. Полимерлі оптикалық талшықты енгізу кезінде матаның физика-механикалық қасиеттерінің айтарлықтай өсуі анықталды.

Тірек сөздер: трикотаж, жұмсақ тоқу, полимерлі оптикалық талшық, арқау жіп, беріктік, тозу.

N.A. Atashikova[1], A.S. Rafikov[2], K.Z. Yunusov[2], E. Ramazan[3], A.M. Azimov[1]

[1]M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan
[2]Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Tashkent, Uzbekistan
[3]Akdeniz University, Antalya, Turkey

MODIFICATION OF KNITTED FABRIC USING POLYMER OPTICAL FIBER IN SMART TEXTILES

Abstract. Smart textiles currently occupy an important place in the textile industry and are used in various technical fields such as medicine, architecture, sports and special clothing. Within the framework of this idea, optical fibers qualify as passive smart textiles and are very interesting for clothing lighting, as well as for controlling friction and pressure in clothing. The purpose of this study is to determine the possibility of obtaining a reflective knitted fabric with increased mechanical strength. Three variants of cotton knitted fabrics with the introduction of polymer optical fiber in the form of polymethylmethacrylate monofilament have been obtained. In one of the variants, an optical fiber is inserted as a weft thread between the loop rows, in the other two it participates in looping. A significant increase in the physico-mechanical properties of the web was found with the introduction of a polymer optical fiber.

Keywords: knitwear, plush weave, polymer optical fiber, weft thread, strength, abrasion.

ҒТАМР 64.29.81

Р.Т. Қауымбаев[1] – *негізгі автор*, ©
Д. Оразғалиев[2]

[1]*PhD*, [2]*Студент*
[1]*https://orcid.org/0000-0003-4266-342X*
[1,2]*М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті,*
Тараз, Қазақстан
[1]*nako02@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/ZCUT5082

ТЕКСТИЛЬ МАТАЛАРЫНЫҢ ЭЛЕКТРЛЕНГІШТІК ҚАСИЕТТЕРІН АНЫҚТАУ

Аңдатпа. Мақалада таза табиғи талшықтардан ғана емес, құрамына химиялық жолдармен өңдеу нәтижесінде алынатын жасанды және синтетикалық талшықтар қосылып шығарылатын аралас маталардың электрленгіштік қасиеттерін зерттеу сұрақтары қарастырылған. Қолданыстағы нормативтік-техникалық құжаттарда келтірілген талаптарға сәйкес, талшықтық құрамдары аралас текстиль маталарының электрленгіштік көрсеткіштерін анықтау мақсатында сынақ тәжірибесі орындалған.

Тірек сөздер: мата, кездеме, текстиль, талшық, сынақ, зерттеу, сапалық көрсеткіш, электрленгіштік қасиет, стандарт.

Қауымбаев, Р.Т. Текстиль маталарының электрленгіштік қасиеттерін анықтау [Мәтін] / Р.Т. Қауымбаев, Д. Оразғалиев //Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.148-157. https://doi.org/10.55956/ZCUT5082

Кіріспе. Соңғы жылдары әлемде текстиль маталары негізінен таза табиғи талшықтардан ғана емес, құрамына химиялық жолдармен өңдеу нәтижесінде алынатын жасанды және синтетикалық талшықтар қосылып шығарылатын аралас маталар ретінде шығарылып келеді. Химиялық талшықтардың үлестері артырылып шығарылатын маталардың артықшылықтарымен қатар, бірқатар кемшілік жақтары да бар. Аралас маталардың сондай кемшілік тұстарының бірі болып, олардың электрленгіштік қасиеттерінің жоғары болуы табылады.

Аралас текстильдік кездемелердің электрленгіштік қасиеттері олардың бойындағы электростатикалық өріс кернеуінің шамаларына сәйкес, сондай-ақ кездеме бетінде болатын нақты электрлік кедергінің шамалары бойынша өлшенеді. Мата бетіндегі электрлік кедергінің шамасы жанама есептік көрсеткіш (бұл көрсеткішті алу кезінде эмпирикалық коэффициент қолданылады) ретінде қабылданады, сондықтан да ол матаның бойындағы нақты электрленгіштік қасиетті көрсете алмайды. Сондай-ақ, текстиль маталарының бойында кездесетін электрленгіштік көрсеткіш қоршаған ортаның атмосфералық жағдайына және кездемелердің жалпы геометриялық көрсеткіштеріне (матаның қалыңдығы, беттік тегістігі және т.б.) өте тәуелді болып келеді. Нәтижесінде осындай жағдайлардың болуы алынатын

ақпараттардың бірқатар шашыраңқы болуына әкеліп соғады және де алынатын ақпараттарды интерпретациялаудың мүмкіндігін төмендетеді [1].

Зерттеу шарттары мен әдістері. Зерттеу жұмысының мақсаты – қолданыстағы стандарттарда келтірілген талаптарға сәйкес, құрамы жүн және химиялық жолмен алынған жасанды және синтетикалық талшықтардан тұратын аралас текстиль кездемелерінің физикалық қасиеттерін, соның ішінде электрленгіштік қасиеттерін анықтауға арналған зерттеу сынағын орындау.

Зерттеу жұмысының міндеттері – химиялық жолдармен алынған жасанды және синтетикалық талшықтар қосылған аралас текстиль кездемелерінің электрленгіштік көрсеткіштеріне нормативтік құжаттар талаптарына сәйкес зерттеу сынағын жүргізу.

Зерттеу нысаны: жасанды және синтетикалық талшықтар қосылған аралас текстиль кездемелерінің физикалық қасиеттері.

Зерттеу жұмысының мақсаты бойынша, алдымен сынаққа қажетті жасанды және синтетикалық талшықтар қосылған аралас текстиль кездемелерінен сынамалық үлгілер таңдап алынды. Алынған сынама үлгілерінің электрленгіштік қасиеттеріне «Текстиль, материалтану және стандартизация» кафедрасының 2.5.410 «Сынау, бақылау және өнімдер қауіпсіздігі» зертханасында тәжірибелік жұмыстар орындалды. Тәжірибелік сынақ алынған үлгілерге қолданыстағы нормативтік-техникалық құжат ГОСТ 32995-2014 «Текстильдік материалдар. Электростатикалық өрістің кернеулігін өлшеу әдісі» талаптары бойынша тәжірибелік сынақ орындалды. Текстильдік кездемелердің электрленгіштік қасиеттері алдын-ала дайындалған сынамалық үлгілерге жүргізілді, яғни әрбір үлгі үшін сынама жеке-жеке орындалды [2].

Жеңіл өнеркәсіп саласының өнімдерін, соның ішінде текстиль маталарын шығаратын өндіріс орындарының ассортименттері сан алуан әртүрлі, мақсаттарына сәйкес қолданылу бағыттары да әртүрлі, сонымен қатар қолданылу мақсаттарының әртүрлілігі олардың талшықты құрамдарының түрлеріне (табиғи талшықты, химиялық – жасанды немесе синтетикалық талшықты) және де маталарды тоқу түрлеріне байланысты болады. Қарастырып отырған жұмыста да құрамына әртүрлі талшықтар кіретін текстиль матаралының сынамалары қолданылды және алынған сынама үлгілерінің электрленгіштік көрсеткіштерін анықтау мақсатында сертификаттау сынағы орындалды. Жұмысты орындау үшін, алдымен талшықты құрамдары әртүрлі болып келетін текстиль маталарының 5 түрінен сынамаға түсетін мата үлгілері іріктеліп алынып, олар үлгілік нөмірлеріне сәйкес келетін тиісті нөмірлермен белгіленді. Текстиль маталарынан сынамалық үлгілер алу, тәжірибелік сынаққа оларды әзірлеу, сынақты жүргізу жұмыстары ГОСТ 32995-2014 «Текстильдік материалдар. Электростатикалық өрістің кернеулігін өлшеу әдісі» нормативтік-техникалық құжаттың талаптарына сәйкес орындалды [2].

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Электрленгіштік көрсеткіштерді анықтау мақсатындағы тәжірибелік сынақ қойылған мақсатқа сәйкес, қазіргі заманғы текстиль маталарының түрлерінен таңдап алынған, талшықтық құрамдары аралас болып келетін жартылай жүн талшықты сынамалық үлгілерге жүргізілді. Тәжірибелік сынақ арнайы жабдықталған 2.5.410 «Сынау, бақылау және өнімдер қауіпсіздігі» лабораториясында орындалды.

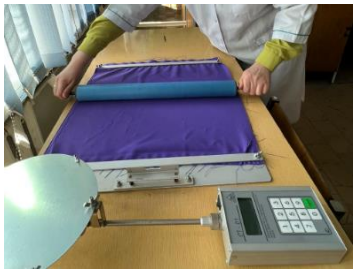
Тәжірибелік сынаққа талшықтық құрамдары аралас, әртүрлі мақсаттарда қолданылатын жартылай жүн талшықты маталардың 5 түрі таңдап алынды, олардың әрқайсысына 10 реттен сынақ жүргізілді, яғни барлық мата үлгілеріне жалпы алғанда 50 рет тәжірибелік сынақ жүргізілді.

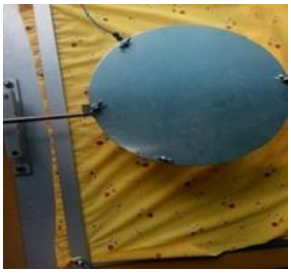
Тәжірибелік сынаққа текстильдік маталардың үлгілері өлшемдері 100×100 см болып дайындап алынды. Сынаққа түскен мата үлгілері тұрмыстық мақсаттағы бұйымдардан кесіліп дайындалды, ал өлшемдері кішкентай сынамалық мата үлгілері бір-біріне жанастырып тігу арқылы әзірленді [3].

Сынаққа түскен текстиль кездемелерінің бойындағы электрленгіштік көрсеткіштеріне жүргізілген өлшеу тәжірибесі, олардың бойындағы электростатикалық өріс кернеулерінің шамаларына сай, жоғарыда сипатталған текстиль кездемелеріндегі электро-статикалық өріс кернеуінің шамасын анықтау үшін қолданылатын құрылғы СТ-01 приборының көмегімен орындалды, тәжірибе сынағы айналымдағы стандартта келтірілген талаптарды сақтай отырып орындалды.

ГОСТ 10681-75 «Текстиль материалдары. Сынамаларды кондициялау және сынау үшін климаттық жағдайлар және оларды анықтау әдістері» құжатының талаптары негізінде, алдымен тәжірибеге түсетін сынама үлгілері, сондай-ақ тәжірибені орындайтын білік, атмосфералық бөлме температурасында 24 сағат бойында ілінген бірқалыпты күйде ұсталынды. Тәжірибені орындау кезінде де осы жағдай сақталынды [4].

Тәжірибені орындауда қолданылған СТ-01 приборы «Пайдалану бойынша басшылық» құжатының талаптары негізінде дайындалды. Барлық орындалған сынақ металл күйдегі біртегіс электродтың электростатикалық кернеу күші 0 кВ/м тең болған жағдайда ғана жүргізіліп отырды.





Сурет 1. №1 үлгінің электрленгіштік көрсеткішін өлшеу

Алдын-ала дайындалған текстиль матасының сынамалық үлгісі, біртегіс металл электродтың үстінгі бетіне жазылған түрде орналастырылады, ал сынамалық үлгінің ортаңғы бөлігіне, үлгінің бетінен 100 мм аралықта прибордың өлшегіш пластинасы орналастырылады. Ары қарай, сыналатын мата үлгісінің бойындағы электростатикалық өріс кернеуін анықтау үшін орындалатын өлшеу тәжірибесі, кернеу мәні 0кВ/м болғанға дейін қайталанып жүргізіле береді (сурет 1).

Мата бетіне түсетін қысым, құрылғы білігінің салмағынан аспауы керек, электрленгіштік көрсеткішті анықтайтын құрылғы мата үлгісінің бетінен алынады да, ары қарай білік арқылы мата үлгісінің бетінен арлы-берлі 5 реттен жүргізіледі (сурет 2). Содан кейін, өлшеу приборы сынаққа түскен мата үлгісінің орталық бөлігіне қарай орналастырылады да, өлшеу

тәжірибесі электростатикалық өріс кернеуінің ең жоғары мәні алынғанға дейін жалғастырыла береді.

Сурет 2. №5 үлгінің электрленгіштік көрсеткішін өлшеу

Осындай жолмен жүргізілген сынақ тәжірибесі маталардың сынамалық үлгілерінің әрқайсысының бойындағы электростатикалық өріс кернеуінің өсу мәні саябырсып, тоқтағанға дейін жалғастырылып орындала береді. Орындалған жұмыс нәтижесінде төмендегі кестелерге (1-5-кестелер) алынған өлшеу ақпараттары келтірілді.

Кесте 1

№1 мата үлгісінің электрленгіштік көрсеткіштері

Сынама нөмірі / көрсеткіштер мәні	Тыныштықтағы электростатикалық өрістің кернеуі, кВ/м	Білікпен әсер еткеннен кейінгі электростатикалық өрістің кернеуі, кВ/м
1	0	0,5
2	0	4,1
3	0	3,2
4	0	2,7
5	0	3,5
6	0	1,8
7	0	0,9
8	0	2,2
9	0	3,6
10	0	3,8
Орташа арифметикалық мәні	0	2,63
Вариация көлемі	0	3,60
Орташа сызықтық ауытқу	0	1,02
Дисперсия	0	1,40
Орташа квадраттық ауытқу	0	1,18
Осцилляция коэффициенті (%)	0	136,88
Салыстырмалы сызықтық ауытқу (%)	0	38,94
Вариация коэффициенті (%)	0	44,93

Кесте 2

№2 мата үлгісінің электрленгіштік көрсеткіштері

Сынама нөмірі / көрсеткіштер мәні	Тыныштықтағы электростатикалық өрістің кернеуі, кВ/м	Білікпен әсер еткеннен кейінгі электростатикалық өрістің кернеуі, кВ/м
1	2	3
1	0	0,8
2	0	1,1

2-кестенің жалғасы

1	2	3
3	0	3,0
4	0	2,5
5	0	1,9
6	0	1,3
7	0	2,9
8	0	3,2
9	0	2,6
10	0	1,7
Орташа арифметикалық мәні	0	2,10
Вариация көлемі	0	2,40
Орташа сызықтық ауытқу	0	0,74
Дисперсия	0	0,66
Орташа квадраттық ауытқу	0	0,81
Осцилляция коэффициенті (%)	0	114,29
Салыстырмалы сызықтық ауытқу (%)	0	35,24
Вариация коэффициенті (%)	0	38,69

Кесте 3

№3 мата үлгісінің электрленгіштік көрсеткіштері

Сынама нөмірі / көрсеткіштер мәні	Тыныштықтағы электростатикалық өрістің кернеуі, кВ/м	Білікпен әсер еткеннен кейінгі электростатикалық өрістің кернеуі, кВ/м
1	0	0
2	0	1,7
3	0	3,6
4	0	4,2
5	0	0,3
6	0	5,5
7	0	4,2
8	0	5,6
9	0	1,9
10	0	2,8
Орташа арифметикалық мәні	0	2,98
Вариация көлемі	0	5,6
Орташа сызықтық ауытқу	0	1,64
Дисперсия	0	3,55
Орташа квадраттық ауытқу	0	1,88
Осцилляция коэффициенті (%)	0	187,92
Салыстырмалы сызықтық ауытқу (%)	0	55,03
Вариация коэффициенті (%)	0	63,20

Кесте 4

№4 мата үлгісінің электрленгіштік көрсеткіштері

Сынама нөмірі / көрсеткіштер мәні	Тыныштықтағы электростатикалық өрістің кернеуі, кВ/м	Білікпен әсер еткеннен кейінгі электростатикалық өрістің кернеуі, кВ/м
1	2	3
1	0	0,1
2	0	0
3	0	0

4-кестенің жалғасы

1	2	3
4	0	0,2
5	0	0,1
6	0	0
7	0	0,1
8	0	0,7
9	0	0
10	0	0,2
Орташа арифметикалық мәні	0	0,08
Вариация көлемі	0	0,2
Орташа сызықтық ауытқу	0	0,07
Дисперсия	0	0,01
Орташа квадраттық ауытқу	0	0,08
Осцилляция коэффициенті (%)	0	257,14
Салыстырмалы сызықтық ауытқу (%)	0	88,89
Вариация коэффициенті (%)	0	101,02

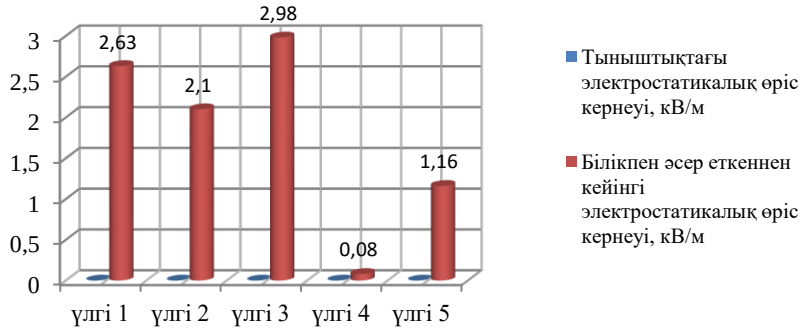
Кесте 5

№5 мата үлгісінің электрленгіштік көрсеткіштері

Сынама нөмірі / көрсеткіштер мәні	Тыныштықтағы электростатикалық өрістің кернеуі, кВ/м	Білікпен әсер еткеннен кейінгі электростатикалық өрістің кернеуі, кВ/м
1	0	1,1
2	0	0,9
3	0	1,3
4	0	1,5
5	0	1,1
6	0	1,4
7	0	0,6
8	0	1,2
9	0	1,3
10	0	1,2
Орташа арифметикалық мәні	0	1,16
Вариация көлемі	0	0,9
Орташа сызықтық ауытқу	0	0,19
Дисперсия	0	0,06
Орташа квадраттық ауытқу	0	0,25
Осцилляция коэффициенті (%)	0	77,59
Салыстырмалы сызықтық ауытқу (%)	0	16,21
Вариация коэффициенті (%)	0	21,19

Жүргізілген сынақ жұмысының нәтижелерін сараптау мәліметтерінен мынаны көруге болады, сынамалық үлгілер ретінде алынған талшықты құрамдары аралас талшықты болып келетін қазіргі заманға сай текстильдік маталардың электрленгіштік көрсеткіштері 2,98 кВ/м аспайды, яғни тәжірибелік сынақтан өткен маталар төмен электрленгіштік қасиетке ие деген қорытынды шығаруға болады. Тәжірибелік сынаққа түскен маталардың барлық сынамалық үлгілері де Кеден одағының Техникалық регламентінде бекітілген талаптарға сәйкес келеді, яғни текстиль маталарының электрленгіштік қасиеттері 15 кВ/м аспайтын нәтиже көрсететін болса, онда

ондай көрсеткіштер маталардың гигиеналық нормаға сәйкестігі ретінде қабылданады [5].



Сурет 3. Электрленгіштікті өлшеу нәтижелері

Тәжірибелік сынаққа түскен маталардан алынған сынама үлгілерінің ішінде электрленгіштік көрсеткіші бойынша ең жоғары максимальды мән 2,98 кВ/м болатын №3-ші мата сынаманың үлесінде болса, керісінше ең төменгі минимальды электрленгіштік көрсеткіш мәні 0,08 кВ/м болатын №4-ші мата сынамасының үлесіне тиесілі.

Қазіргі уақытта талшықты құрамдарына табиғимен қатар, жасанды немесе химиялық талшықтар кіретін заманауи текстиль кездемелерінің молекулалық құралымдарының ерекшеліктеріне сәйкес, олар төмен электрленгіштік қасиетіне ие болып келеді. Бұның себебіне келсек, біріншісі, матаның негізін құрайтын талшықтар құрылымының полярлы топтары қайта бағдарланып кеңістікте жақындаған, соның нәтижесінде текстиль матасының беттік қабатында электрлік статикалық күштің жиналуына жағдай туындамайды, екінші себебі өткізгіштік қасиеті жақсы судың мономолекулярлы қабаты өте тез түзіледі, ал ол өз кезегінде текстиль матасының бойына электрлі зарядтың жинақталуын болдырмайды [5].

Орындалған жұмыста алынған текстильдік кездемелердің электрлену көрсеткіштерін анықтау үшін бірқатар тәжірибелік сынақ сериясы жүргізілді, талшықты құрамында жасанды және химиялық талшықтардың үлестері әр түрлі аралас текстильдік кездемелердің сынамалық мақсатта алынған үлгілері қолданылды (6-кесте).

Кесте 6

Ж/ж талшықты маталардың электрленгіштік көрсеткіштері

Мата сынамасының нөмірі	Тыныштықтағы электростатикалық өріс кернеуі, кВ/м	Білік әсер еткеннен кейінгі электростатика-лық өріс кернеуі, кВ/м
Жүн талшығы 100%	0	2,63
Жүн талшығы 80% Полиамид талшығы 17,5% Эластан талшығы 2,5 %	0	0,1

Тәжірибелік сынақ «Текстиль, материалтану және стандартизация» кафедрасының 2.5.410 «Сынау, бақылау және өнімдер қауіпсіздігі» лабораториясында орналасқан СТ-01 приборын қолдану арқылы жүргізілді.

Орындалған жұмыстың нәтижесінен мынаны көруге болады, яғни талшықты құрамында жасанды немесе химиялық талшықтың үлесін арттырған сайын, текстиль кездемелерінің электрленгіштік көрсеткіштерінің өсуі айтарлықтай емес.

Жұмыста іріктеліп алынған текстильдік кездемелердің тәжірибелік сынаққа түскен үлгілерінің электрленгіштік қасиеттерін анықтау мақсатында жүргізілген сынақ КО ТР 018/2011- «Жеңіл өнеркәсіп өнімдерінің қауіпсіздігі туралы» Кеден одағының техникалық регламентінде бекітілген нормаларға сәйкес орындалды [6]. Текстиль кездемелерінің электрлену көрсеткіштерін анықтау мақсатында жүргізілген сынақ нәтижесі мынаны көрсетті:

– электростатикалық өріс кернеуінің шамасы бойынша, текстильдік кездемелердің электрлену көрсеткіштерін анықтау үшін жүргізілген өлшеуге қатысты жұмыста ұсынылған әдістеме, бұл көрсеткіштер текстиль кездемелерінің гигиеналық жағынан бағалануы үшін, неғұрлым дұрыс әрі нақты болып табылады;

– қолданыста кеңінен пайдаланылатын қазіргі заманғы құрамы табиғи талшықты болып келетін көптеген текстильдік кездемелердің электрлену көрсеткіштері төмен;

– қолданыста кеңінен пайдаланылатын қазіргі заманғы құрамы жасанды немесе химиялық талшықты текстиль кездемелерінің электрлену көрсеткіштері де төмен;

– қолданыста кеңінен пайдаланылатын қазіргі заманғы құрамы аралас талшықты екі компонентті болып келетін текстильдік кездемелердегі табиғи, жасанды немесе химиялық талшықтардың пайыздық қатынастарының өзгеруінен бұндай кездемелердің электрлену көрсеткіштеріне келетін әсері соншалықты үлкен болмайды.

Қорытынды. Алынған текстиль сынамаларының электрленгіштік көрсеткіштерін анықтау мақсатында орындалған сертификаттау сынағының нәтижесі айналымдағы нормативтік-техникалық құжатта көрсетілген талаптарға сәйкес келеді.

Текстиль кездемелерінің ішінен құрамына жасанды және химиялық талшықтар кіретін заманауи текстиль маталарының физикалық қасиеттерін анықтау үшін орындалған жұмыста бүкіл әлемдік тәжірибе тұрғысынан алғанда қолданыста кеңінен пайдаланылатын нормативтік-техникалық базаға сараптау жасалды.

Текстильдік кездемелердің электрленгіштік көрсеткіштерін анықтау мақсатында, тәжірибелік жұмыстарда кеңінен қолданылатын өлшеу, бақылау және сынау тәсілдеріне және жабдықтарына талдау жүргізілген.

Алға қойылған міндеттердің барлығы дерлік жұмыс жоспары бойынша іске асырылып, белгіленген жұмыс мақсаты орындалды, нәтижесінде тиісті деңгейде тәжірибелік сынақтың міндеттері оң шешім тапты. Тұжырымдалған жұмыстың жалпы нәтижесі жеңіл өнеркәсіп бағытындағы, соның ішінде текстиль өнімдерін шығаратын өндіріс орындары үшін ұсыныстық стадиясына дейін жеткізілген шешімнің толықтығымен сипатталады.

Әдебиеттер тізімі

1. Обзор состояния легкой промышленности Казахстана: импортозамещение, экспорт и господдержка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://primeminister.kz/ru/news/reviews/obzor-sostoyaniya-legkoy-promyshlennosti-kazahstana-importozameshchenie-eksport-i-gospodderzhka.

2. ГОСТ 32995–2014. Материалы текстильные. Методика измерения напряженности электростатического поля [Текст]. – Введ. 01.07.2017. – Москва: Стандартинформ, 2017.
3. Кирюхин, С.М. Качество тканей [Текст] / С.М. Кирюхин, Ю.В. Додонкин. – М.: Легпромбытиздат, 1986. – 160 с.
4. ГОСТ 10681–75. Текстиль материалдары. Сынамаларды кондициялау және сынау үшін климаттық жағдайлар және оларды анықтау әдістері [Текст]. – Введ. 01.01.78. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 1997. – 30 с.
5. Сейтқұл, Д. Қазіргі заманғы өлшеу құралдарын қолдана отырып, жүн және жартылай жүн маталарының физика-механикалық қасиеттерін зерттеу [Мәтін]: магистрлік диссертация / Д. Сейтқұл; ғылыми жетекшісі: т.ғ.к., доцент Шардарбек М.Ш. – 2023. – 72 б.
6. Технический регламент Таможенного союза 007/2011. О безопасности продукции, предназначенной для детей и подростков [Текст]: утв. Решением Комиссии Таможенного союза от 23 сентября 2011 г. № 797.

Материал редакцияға 23.02.26 түсті, 19.03.26 қабылданды.

Р.Т. Қауымбаев[1], Д. Оразғалиев[1]

[1]Таразский университет им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРИЗУЕМОСТИ ТЕКСТИЛЬНЫХ ТКАНЕЙ

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы изучения свойств электризуемости смешанных тканей, которые выпускаются не только из чистых натуральных волокон, но и с добавлением искусственных и синтетических волокон, получаемых в результате химической обработки их состава. В соответствии с требованиями, приведенными в действующих нормативно-технических документах, выполнен опыт испытаний с целью определения показателей электризуемости текстильных тканей со смешанным волокнистым составом.

Ключевые слова: ткань, текстиль, волокно, испытание, исследование, качественный показатель, электризуемость, стандарт.

R.T. Kauymbaev[1], D. Orazgaliev[1]

[1]M.Kh. Dulaty Taraz university, Taraz, Kazakhstan

DETERMINATION OF ELECTRIFICATION PROPERTIES OF TEXTILE FABRICS

Abstract. The article discusses the issues of studying the properties of electroconductivity of mixed fabrics, which are produced not only from pure natural fibers, but also with the addition of artificial and synthetic fibers obtained as a result of chemical treatment of their composition. In accordance with the requirements given in the current regulatory and technical documents, the test experience was carried out in order to determine the electrification parameters of textile fabrics with a mixed fibrous composition.

Keywords: fabric, textile, fiber, testing, research, qualitative indicator, electrification, standard.

References

1. Overview of the Light Industry of Kazakhstan: Import Substitution, Export and State Support [Electronic resource]. – Access mode:

https://primeminister.kz/ru/news/reviews/obzor-sostoyaniya-legkoy-promyshlennosti-kazahstana-importozameshchenie-eksport-i-gospodderzhka.

2. GOST 32995–2014. Materialy tekstilnye. Metodika izmereniya napryazhennosti elektrostatischeskogo polya [Textile Materials. Method for Measuring Electrostatic Field Strength]. – Introduced 01.07.2017. – Moscow: Standartinform, 2017. [in Russian].
3. Kiryukhin S.M., Dodonkin Yu.V. Kachestvo tkaney [Quality of Fabrics]. – Moscow: Legprombytizdat, 1986. – 160 p. [in Russian].
4. GOST 10681–75. Tekstil materialdary. Synamalardy konditsiyalau zhene synau ushin klimattyk zhagdaidar zhene olardy anyqtau ədisteri [Textile Materials. Climatic Conditions for Conditioning and Testing Samples and Methods for Determination]. – Introduced 01.01.1978. – Moscow: IPK Izdatelstvo standartov, 1997. – 30 p. [in Russian].
5. Seitqul D. Qazirgi zamandagy ölçew quraldaryn qoldana otiryp, zhün zhane zhartylay zhün matalarynyn fizika-mekhanikalik qasietterin zerttew [Investigation of Physical and Mechanical Properties of Wool and Semi-Wool Fabrics Using Modern Measurement Tools]: Master’s Thesis / D. Seitqul; Scientific Supervisor: PhD, Associate Professor Shardarbek M.Sh. – 2023. – 72 p. [in Kazakh].
6. Tekhnicheskiy reglament Tamozhennogo soyuza 007/2011. O bezopasnosti produktsii, prednaznachennoy dlya detey i podrostkov [Technical Regulation of the Customs Union 007/2011 on the Safety of Products Intended for Children and Adolescents]: Approved by the Decision of the Customs Union Commission No. 797 dated 23 September 2011. [in Russian].

ҒТАМР 64.35.23

Р.М. Егемберди[1] – *негізгі автор*,
Р.Ш. Мирзамуратова[2], Е.Е. Байрамоглу[3]

©

[1]Докторант, [2]PhD, доцент, [3]PhD, профессор

ORCID *[1]https://orcid.org/0009-0008-7202-8770 [2]https://orcid.org/0009-0005-2645-1357 [3]https://orcid.org/0000-0002-8730-049X*

[1,2]М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті, Шымкент, Қазақстан
[3]Эге Университеті, Измир, Түркия

@ *[1]raikhan_yegemberdi@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/TNZA3076

ӘРЛЕУДІҢ БЫЛҒАРЫ ҚҰРЫЛЫМЫНА ӘСЕРІН МИКРОСКОПИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУ ӘДІСІ АРҚЫЛЫ АНЫҚТАУ

Аңдатпа. Бұл ғылыми жұмыс былғарыны әрлеу процесінің материалдың микроқұрылымы мен химиялық элементтік құрамына тигізген әсерін зерттеуге арналған. Зерттеуде хроммен иленген жартылай фабрикат (Wet blue) және толық өңделіп, әрленген былғары үлгілері қолданылды. Негізгі әдіс ретінде Растрлық Электронды Микроскопия (РЭМ) және элементтік талдау қолданылды. РЭМ әдісі коллаген талшықтарының морфологиясын, тығыздығын және өңдеуден кейінгі өзгерістерін (деформация, әрлеу қабатының түзілуі) жоғары ажыратымдылықта бақылауға мүмкіндік берді. Wet blue күйінен әрленген былғарыға өткенде, құрамға Титан (Ti), Кремний (Si), Алюминий (Al) және Фосфор (P) сияқты маңызды элементтер енгізілгені анықталды. Бұл былғарының хром-титанды комбинирленген илеуден өткенін, силиконды қосылыстармен су өткізбейтін қасиет берілгенін және TiO_2 негізіндегі пигментпен боялғанын дәлелдеді. Әрленген былғарыда Натрий (Na) және Хлор (Cl) қалдықтарының үлесі Wet blue үлгісімен салыстырғанда едәуір төмендеген. Әрлеу жұмыстары кезіндегі механикалық өңдеулер былғарының беткі қабатын тығыздап, тегістеді, су өткізбеушілікті арттырды. Алайда, бұл деформация коллаген талшықтарын біріктіріп, терінің жалпы беріктігін арттырғанымен, оның табиғи икемділігін төмендетеді.

Тірек сөздер: былғарының құрамы, былғарыны әрлеу, өңдеу, хром, РЭМ.

Егемберди, Р.М. Әрлеудің былғары құрылымына әсерін микроскопиялық зерттеу әдісі арқылы анықтау [Мәтін] / Р.М. Егемберди, Р.Ш. Мирзамуратова, Е.Е. Байрамоглу //Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.158-168. https://doi.org/10.55956/TNZA3076

Кіріспе. Былғары – көпқырлы мақсаттарда қолданылып келе жатқан табиғи материал. Былғары өндіруде ең жиі пайдаланылатын шикізат түрлері – үй жануарларының терісі: ірі қара, ешкі, қой және аз мөлшерде шошқа және т.б. [1]. Былғары өңдеу бірнеше негізгі кезеңнен тұрады: алдын ала илеу, илеу, илеуден кейінгі өңдеу және әрлеу [2,3].

Алдын ала илеу процесі жануар терісінен жүн мен ет қалдықтарын алып тастауға бағытталған. Ал илеу – былғарыны тұрақты әрі берік ететін негізгі және маңызды кезең болып табылады. Илеуден кейінгі өңдеу

кезеңінде майлау, қайта илеу және бояу үдерістері жүргізіледі, бұл былғарының сыртқы түрін жақсартып, эстетикалық тартымдылығын арттырады [1,3]. Былғарыны әрлеу – өндіріс процесінің соңғы кезеңі, ол былғарының табиғи, тегіс және біркелкі сапалы көрініс алуын қамтамасыз етеді [4].

Былғарыны әрлеу кезеңі – былғары өңдеудің соңғы әрі ең маңызды кезеңі. Бұл кезеңнің басты мақсаты – былғарының эстетикалық қасиеттері мен беткі сапасын арттыру, сонымен қатар оны шаң-тозаңнан, дақтан, ылғалдану мен сызат түсуінен, үйкеліс пен майысудан қорғау болып табылады [4,5]. Былғарыны әрлеу арқылы оның түс реңкі, жылтырлығы, құрылымы және физикалық беріктігі жетілдіріледі [5].

Былғарыны әрлеу технологиясы су буына өткізгіштік пен су өткізбейтіндікке әсер етуі мүмкін. Өңделмеген былғары табиғи порозды құрылымы салдарынан су буына өткізгіштігі жоғары, ал су өткізбейтіндігі төмен болады. Беттің түсін, жылтырын, құрылымын өзгерту, жарыққа және үйкелуге төзімділік, суға, еріткіштерге, тозуға төзімділікті жақсарту, сондай-ақ ақаулар мен біркелкі емес көрініс жасыру үшін былғары әрленуі қажет [6,7]. Зерттеулер көрсеткендей, полиуретанмен әрленген былғарының су буына өткізгіштігі өңделмегенге қарағанда 30-50% төмендейді [8,9], ал былғарыны ламинациялау кезінде бұл көрсеткіш одан әрі төмендейді [10].

Былғарыны әрлеуде үш негізгі полимерлі байланыстырушы топтары қолданылады: акрилді, полиуретан және бутадиен. Олардың әрқайсысының негізгі мономері, полимерлену дәрежесі, молекулалық массасы, бүйірлік тізбектердегі функционалды топтар түрі және ішкі және молекулалық байланыстар санына байланысты өзіндік ерекшеліктері бар [9].

Бутадиен негізіндегі байланыстырушының негізгі сипаттамалары – резеңке тәрізді қасиет, жоғары байланыстырушы қабілет, икемділік (төмен температурада да) және толтыру қасиеттері [11]. Дегенмен, олар автототықтануға сезімтал және адгезиямен байланысты кейбір қиындықтарды тудыруы мүмкін [9].

Полиакрилаттар былғары әрлеуінде ең көп қолданылатын полимерлер болып табылады [12-14]. Олар жақсы адгезияға ие, көптеген қоспалармен үйлесімді, сонымен қатар кесу әсеріне жоғары тұрақтылық көрсетеді. Кемшіліктері: органикалық еріткіштерге сезімталдық, механикалық беріктіктің жеткіліксіздігі және жоғары термопластиктік қасиет [9].

Қазіргі таңда полиуретан (PU) былғарыларды әрлеуде жабынды түзетін материал ретінде кеңінен қолданылады, себебі оның полиуретан (PU) түзушілік қасиеті мен адгезиясы жақсы, өндірісі қарапайым және өндіріс құны төмен [11,15-17]. PU қасиеттері жұмсақ сегменттердің мөлшері, химиялық құрылымы және молекулалық массасына байланысты өзгереді [18,19]. Эстер типті полиол негізіндегі PU жақсы механикалық қасиеттерге ие болса, эфир типті полиол негізіндегі PU гидролизге, жұмсақтыққа және су буына өткізгіштікке жақсы әсер көрсетеді.

Соңғы бірнеше онжылдықта былғарыны зерттеуде әртүрлі әдістемелер қолданылып келеді. Олардың қатарына сканерлеуші электронды микроскопия (РЭМ) [20,21], Фурье түрлендіру инфрақызыл спектроскопиясы (FTIR) [22-25], сұйық хроматография-масс-спектрометрия (LC-MS) [26] және газ хроматография-масс-спектрометриясы (GC-MS) [27] жатады.

РЭМ әдісі арқылы коллагеннің көлденең талшықтық құрылымын, былғары бетінің текстурасын және саңылау (тесік) үлгісін зерттеу арқылы

жануардың түрін анықтауға болады, өйткені бұл белгілер әр жануарға тән ерекше сипатқа ие [28,29].

Жұмысты орындау барысында Р.Ш. Мирзамуратова, Р.Т. Калдыбаев және Есер Е. Байрамогоглу еңбектеріне сүйенілді. Атап айтқанда, жаңғақ қабығының (*Juglans regia*) былғарының бояу тұрақтылығына және беріктілік қасиеттеріне әсері зерттелген, алынған нәтижелер оң сипатта болғаны көрсетілген [30,31].

Зерттеу шарттары мен әдістері. Бұл зерттеуде екі түрлі былғары зерттелді:

1) хроммен илеуден кейінгі жартылай фабрикат күйі(Wet blue);

2) әрленген былғары алудың барлық кезеңінен өткен, оның ішінде әрлеу жұмыстары да бар;

Материалдардың құрылымы мен химиялық элементтерін анықтау жұмыстары жүргізілді. Осы мақсатта Растрлық электронды микроскоппен бақылау және бағалау әдісі қолданылды. Растрлық электронды микроскопия (РЭМ) үлгінің беткі қабатын өте жоғары ұлғайтумен (1 000 000 есеге дейін) және тереңдікпен зерттеуге мүмкіндік беретін электронды микроскопия түрі. Бұд әдіспен материалдардың беткі морфологиясын (бедерін, құрылымын) және элементтік құрамын (химиялық элементтердің орналасуын) зерттейді. Бұл – ғылым мен өнеркәсіпте кеңінен қолданылатын зерттеу әдісі. Оптикалық микроскоптармен салыстырғанда айтарлықтай жоғары ажыратымдылыққа ие. Электрондардың үлгімен әрекеттесуі нәтижесінде екінші реттік электрондар, шағылысқан электрондар және рентгендік сәулелену сияқты әртүрлі сигналдар пайда болады. Бұл сигналдар арнайы детекторлармен тіркеліп, компьютерде үлгінің жоғары ажыратымдылықтағы кескінін қалыптастырады.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. РЭМ көмегімен Wet blue ішкі бетінің элементтік құрамына зерттеу нәтижелері 1-кестеде берілген.

Кесте 1

РЭМ көмегімен элементтік құрамға зерттеу нәтижелері (Wet blue ішкі беті)

Элемент	Пайыздық үлес (%)	Былғарыдағы ықтимал рөлі
1	2	3
C (Көміртек)	59,40	Негізгі органикалық құрам: Бұл терінің негізгі бөлігі болып табылатын ақуыздардың (коллаген) құрылымының (көміртекті тізбектер) көрсеткіші.
O (Оттек)	26,61	Органикалық құрам/Су: ақуыздардың, майлардың және терідегі ылғалдың (су) құрамындағы маңызды компонент.
Na (Натрий)	2,97	Өңдеу қалдықтары: теріні бастапқы өңдеуде (тұздау, консервациялау) қолданылған тұздардың (NaCl) қалдығы. Бұл көрсеткіш тұздау процесінің толық шайылмағанын білдіруі мүмкін.
Mg (Магний)	0,27	Минералды Қоспалар: терінің табиғи құрамындағы немесе өңдеу кезінде қолданылған (мысалы, әк суы) минералдардың немесе топырақ бөлшектерінің аз мөлшері.
Si (Кремний)	0,13	
Ca (Кальций)	0,14	
S (Күкірт)	2,19	Ақуыз құрамы/Химиялық өңдеу: коллаген құрамындағы аминқышқылдарында (мысалы, цистеин) бар немесе илеу/бояу кезінде қолданылған химиялық заттардың (сульфаттар) қалдығы.

1-кестенің жалғасы

1	2	3
Cl (Хлор)	5,14	Өңдеу қалдықтары: натриймен бірге (құрамында Cl көптеу) тұзды консервациялаудың немесе басқа химиялық өңдеулердің (NaCl, хлорлы тұздар) қалдығы.
Cr (Хром)	3,16	Илеу Агенті: бұл ең маңызды көрсеткіш. Бұл үлес былғарының хроммен иленгенін білдіреді (көбіне Cr(III) тұздары қолданылады). Хром илеу былғарыға беріктік, икемділік және ыстыққа төзімділік береді.

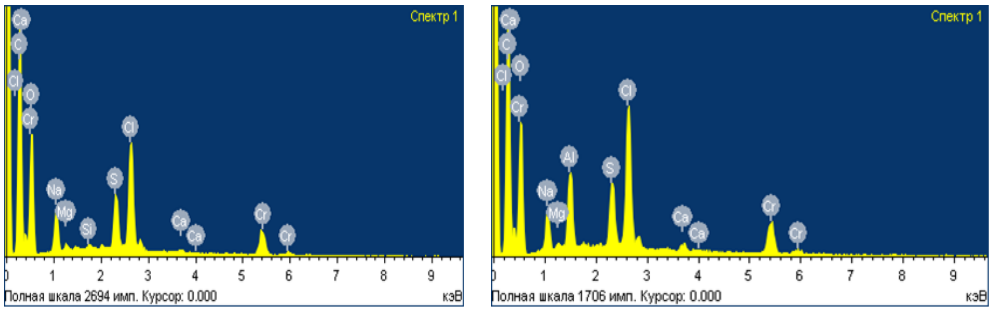
РЭМ көмегімен Wet blue сыртқы бетінің элементтік құрамына зерттеу нәтижелері 2-кестеде берілген.

Кесте 2

РЭМ көмегімен элементтік құрамға зерттеу нәтижелері
(Wet blue сыртқы беті)

Элемент	Жаңа пайыздық үлес (%)	Алдыңғы пайыздық үлес (%)	Былғарыдағы ықтимал рөлі
C (Көміртек)	58.50	59.40	Былғарының органикалық негізі
O (Оттек)	24,78	26.61	Органикалық құрамдағы және су құрамындағы оттек
Na (Натрий)	2.23	2.97	Тұздау қалдықтары
Al (Алюминий)	2.44	0	Жаңа маңызды элемент
Mg (Магний)	0.19	0.27	Аз мөлшердегі минералдар
Si (Кремний)	0.13	0.13	Аз мөлшердегі минералдар
Ca (Кальций)	0.39	0.14	Аз мөлшердегі минералдар
S (Күкірт)	2.18	2.19	Ақуыз/Сульфаттар
Cl (Хлор)	5.71	5.14	Тұздау қалдықтары (көрсеткіш аздап өсті)
Cr (Хром)	3.57	3.16	Илеу агенті (көрсеткіш аздап өсті)

Хроммен илеуден кейінгі жартылай фабрикат күйінің(Wet blue) сыртқы және ішкі бейнелері 1-суретте көрсетілген.



а б

а) ішкі беті; б) сыртқы беті.

Сурет 1. Хроммен илеуден кейінгі жартылай фабрикат күйі (Wet blue)

Хром (Cr) үлесі (3,57) былғарының хроммен иленгенін нақты көрсетеді. Бұл ең көп тараған және берік илеу әдісі.

Алюминий (Al) үлесі (2,44) маңызды және жаңа ақпарат. Бұл келесіні білдіруі мүмкін: былғарыда хром және алюминий тұздарымен (мыс: алюминий сульфаты) бірге иленген. Бұл кейде былғарының икемділігін немесе ақ түсін жақсарту үшін қолданылады. Кейбір жағдайларда хроммен иленгеннен кейін, алюминий қосылыстары былғарының кейбір қасиеттерін өзгерту үшін қайта илеу процесінде қолданылуы да мүмкін.

(Cl, 5,71) және (Na, 2,23) мөлшерінің жоғары болуы әлі де тұздау (консервация) процесінің қалдықтары бар екенін көрсетеді. Cl мөлшерінің Na мөлшерінен айтарлықтай көп болуы, бұл үлгіде басқа хлорлы қосылыстардың немесе өңдеу ерітінділерінің бар екенін де білдіреді.

Көміртек (C) және оттек (O) – 58,50 және 24,78) Былғарының органикалық негізі, яғни коллаген талшықтары. Күкірт – аминқышқылдарындағы күкірт және сульфаттар. Кальций - әкпен өңдеу (сүйек талшықтарын кетіру) процесінің аз мөлшердегі қалдықтары болуы мүмкін.

РЭМ көмегімен әрленген былғарының ішкі бетінің элементтік құрамына зерттеу нәтижелері 3-кестеде берілген.

Кесте 3

РЭМ көмегімен элементтік құрамға зерттеу нәтижелері
(әрленген былғарының ішкі беті)

Элемент	Пайыздық үлес (%)	Былғарыдағы ықтимал рөлі
Ti (Титан)	7,59	Былғары титан тұздарымен (мысалы, титан сульфаты немесе титанаттар) иленгенін немесе беткі қабаты титан диоксидімен (TiO_2) (ақ пигмент) өңделгенін білдіреді. Бұл өте жоғары көрсеткіш.
C(Көміртек)	49,02	Органикалық негіз (коллаген) үлесі алдыңғы үлгілерден төмендеді.
O (Оттек)	36,29	Органикалық құрамдағы және оксидтердегі оттек үлесі өсті.
Cr (Хром)	3,76	Былғарының хроммен иленгенін көрсетеді. Хромның мөлшері тұрақты жоғары.
Si (Кремний)	3,33	Бұл өте жоғары көрсеткіш. Былғары кремний қосылыстарымен (силикаттар, кремнийлі полимерлер) өңделгенін, мүмкін, су өткізбейтін қасиет беру үшін немесе илеуге көмекші агент ретінде қолданылғанын білдіреді.
Al (Алюминий)	1,56	Қосымша илеу/қайта илеу агенті (алюминий тұздары).
Na (Натрий)	1,29	Тұздау қалдықтары. Бұл үлгіде Na қалдығы алдыңғыларға қарағанда едәуір төмен.
S (Күкірт)	0,63	Аминқышқылдары және сульфаттар. Бұл көрсеткіш те төмен.
Cl (Хлор)	0,16	Тұздау қалдықтары. Бұл үлгіде Cl өте төмен, яғни тұздар жақсы шайылған.
K (Калий)	0,13	Аз мөлшердегі тұздар

Бұл талдау былғарының өте күрделі және көп сатылы химиялық өңдеуден өткенін көрсетеді.

Титанның (7,59%) өте жоғары болуы былғарының беткі қабаты Титан диоксиді (TiO_2) негізіндегі ақ пигментпен боялғанын немесе өңделгенін

білдіруі мүмкін. TiO_2 – ақ былғары жасауда және ультракүлгін сәуледен қорғауда жиі қолданылады.

Кремнийдің (3,33%) айтарлықтай болуы силиконды/кремний органикалық қосылыстармен су өткізбейтін немесе беткі қабатты күшейтетін өңдеуді көрсетеді. Na және Cl (натрий хлориді) қалдықтарының алдыңғы үлгілерге қарағанда едәуір төмен болуы, бұл былғарының тұздаудан кейін өте жақсы шайылғанын білдіреді, бұл сапа көрсеткіші болып табылады. C үлесінің төмендеуі және Ti мен O үлесінің өсуі былғарыға органикалық емес (бейорганикалық) материалдардың (металл тұздары, оксидтер, силикаттар) көп мөлшерде енгізілгенін көрсетеді.

Бұл – хром-титанмен комбинацияланған, силиконмен өңделген және мүмкін TiO_2 пигментімен боялған жоғары технологиялық былғары. Хром (Cr) және титан (Ti) тұздарымен илеу барысында екі металл да коллаген талшықтарымен байланысып, олардың жібіп кету температурасын (shrinkage temperature) айтарлықтай арттырады. Былғары ыстыққа және суға төзімді болады. Бұл оны жоғары температурада өңдеуге және экстремалды жағдайларда қолдануға мүмкіндік береді.Былғары тозуға және созылуға төзімді болып, қызмет ету мерзімін ұзартады.

Кремний (Si) қосылыстары (Силикондар):3,33 үлесі – материалдың силиконды полимерлермен немесе басқа кремний қосылыстарымен өңделгенін білдіреді. Былғарының беті су өткізбейтін болады. Су талшықтарға сіңбей, оның бетінен сырғып кетеді. Бұл ылғалды жағдайда қолдануға арналған былғары үшін өте маңызды.

Титан оксиді (TiO_2) пигментінің бар болуы анықталды. TiO – ақ және мөлдір емес бояуларда қолданылатын тамаша пигмент. Ол былғарыға ақ түс беруге немесе оның түсін ашық етуге көмектеседі, сонымен қатар ультракүлгін сәулелерден қорғайды, бояудың оңай өшпеуін қамтамасыз етеді.

РЭМ көмегімен әрленген былғарының сыртқы бетінің элементтік құрамына зерттеу нәтижелері 4-кестеде берілген.

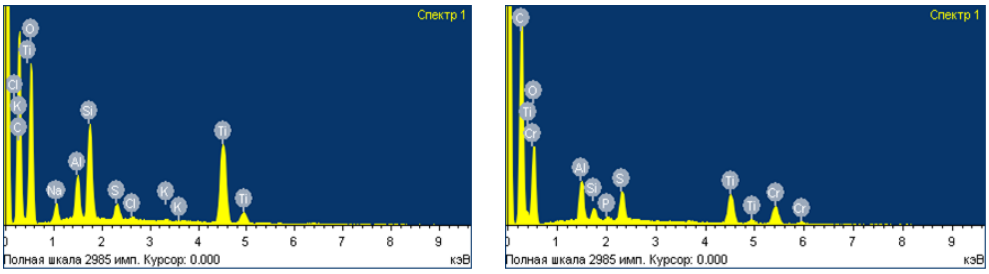
Кесте 4

РЭМ көмегімен элементтік құрамға зерттеу нәтижелері (әрленген былғарының сыртқы беті)

Элемент	Жаңа пайыздық үлес (%)	Алдыңғы пайыздық үлес (%)	Былғарыдағы ықтимал рөлі
1	2	3	4
C (Көміртек)	56,15	49,02	C үлесі аздап өсті. Органикалық негіз (коллаген).
O (Оттек)	30,21	36,29	O үлесі аздап төмендеді. Органикалық құрам және оксидтер.
Na (Натрий)	1,29	1,29	Тұздау қалдығы (тұрақты төмен)
Al (Алюминий)	2,51	1,56	Қосымша илеу/Қайта илеу. Үлесі өсті, бұл оның маңыздылығын арттырады.
P(Фосфор)	0,22	0	Жаңа элемент. Әдетте фосфаттармен илеу, майлау немесе өртке қарсы қасиет беру үшін қолданылады.
Si (Кремний)	0,67	3,33	Силиконды өңдеу бар, бірақ оның мөлшері күрт төмендеді.
K (Калий)	0,13	0,13	Аз мөлшердегі тұздар.

4-кестенің жалғасы

1	2	3	4
S (Күкірт)	1,92	0,63	Күкірт мөлшері айтарлықтай өсті. Бұл сульфаттардың немесе күкіртті майлардың (сульфиттелген майлар) қолданылғанын білдіреді.
Cl (Хлор)	0,16	0,16	Тұздау қалдығы (тұрақты төмен).
Cr (Хром)	3,86	3,76	Илеу агенті (Хроммен иленген). Үлесі жоғары және тұрақты.
Ti (Титан)	4,47	7,59	Қосымша илеу/бояу агенті. Үлесі айтарлықтай төмендеді, бірақ әлі де жоғары
Барлығы	100.00	100.00	



а б

а) ішкі беті; б) сыртқы беті.

Сурет 2. Әрленген былғары

Бұл талдау былғарының өңдеу технологиясының әлі де күрделі екенін және оған жаңа қоспалар енгізілгенін көрсетеді.

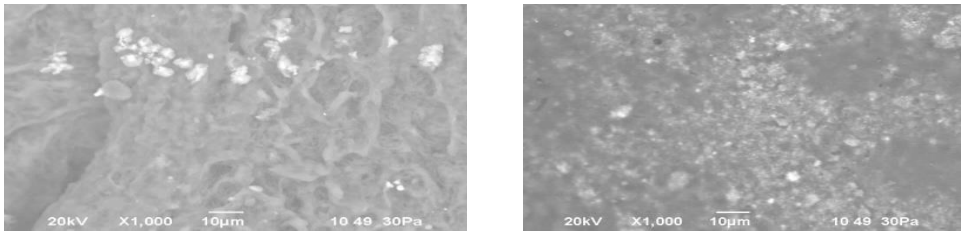
Фосфор (P) – 0,22% фосфатты қосылыстардың қолданылғанын көрсетеді. Кейбір фосфатты қосылыстар былғарының тез тұтануына кедергі келтіретін қасиет береді. Фосфаттар кейде жұмсақтық пен икемділік беру үшін қосымша илеу агенті ретінде қолданылады. Күкірт (S) үлесінің өсуі (1,92): Күкірт мөлшерінің артуы, әсіресе Ti үлесінің азаюымен бірге, сульфиттелген майлардың немесе сульфондалған майлардың (былғарыны жұмсарту және майлау үшін қолданылатын химиялық заттар) көп мөлшерде қолданылғанын көрсетеді.

Кремний (Si) үлесінің күрт төмендеуі (0,67): Бұл өндіруші силиконды өңдеуді азайтқанын немесе мүлдем басқа әдіспен алмастырғанын білдіреді.

Бұл өңдеу комбинациясы былғарыны жұмсақ, икемді етеді және оған жақсы термиялық тұрақтылық береді.

Былғары үлгілерінің микроскопиялық зерттеу нәтижелері 3-суретте көрсетілген.

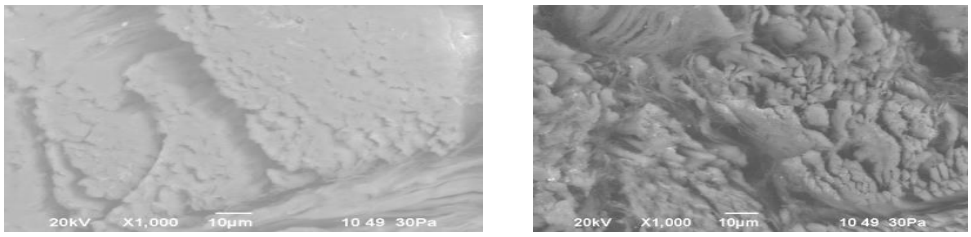
Былғарыны илеу процесінің тері құрылымына қалай әсер ететінін анық көрсетеді. Онда теріге тұрақтылық, түс және басқа қасиеттер беру үшін қосылған органикалық матрица (коллаген талшықтары) да, бейорганикалық компоненттер де көрініп тұр. Илеудің былғарыда ішкі құрылым химиялық тұрақтылықты қалай қамтамасыз ететінін көрсетеді.



а б

а) ішкі беті; б) сыртқы беті.

Сурет 3. Хроммен илеуден кейінгі жартылай фабрикат күйінің құрылымы (Wet blue)



а б

а) ішкі беті; б) сыртқы беті.

Сурет 4. Әрленген былғарының құрылымы

Былғарыны әрлеу кезінде қолданылатын механикалық өңдеудің терінің микроқұрылымына тигізген әсерін көрсетеді. Былғарыны әрлеудің сыртқы беткі қабатының эстетикалық және қорғаныс қасиеттерін қалай жақсартатынын көрсетеді(сурет 4а). Коллаген талшықтарының қалай ірі будалар түзіп, бір-біріне тығыз орналасатынын көрсетеді, бұл терінің жалпы беріктігін қамтамасыз етеді (сурет 4б). Жарық бөлшектердің аздығы бұл аймақтың әрлеу қабатының әсерінен тазартылғанын немесе илеу затының біркелкі тарағанын көрсетеді. Мұндай деформация терінің беткі қабатын тығыздап, тегістейді, оған жоғары жылтырлық береді және су өткізбеушілігін арттырады.

Алайда, бұл процестер терінің табиғи икемділігін төмендетіп, сынуға бейімділігін арттыруы мүмкін.

Қорытынды. Бұл зерттеу хроммен иленген жартылай фабрикат (Wet blue) және толық әрленген былғарының микроскопиялық және элементтік құрамдарын Растрлық Электронды Микроскопия (РЭМ) әдісі арқылы терең талдауға негізделген. Жүргізілген РЭМ зерттеулері былғарыны әрлеудің материалдың тек сыртқы эстетикасына ғана емес, сонымен қатар микроқұрылымына және химиялық құрамына да түбегейлі әсер ететінін дәлелдеді. Әрленген былғарыда материалдың тығыздығы мен біркелкілігі айқын көрінеді, бұл былғарының эстетикалық және қорғаныс қасиеттерін жақсартады. Бұл қабат жоғары жылтырлық беріп, су өткізбеушілікті арттырады.

Былғары хром-титанмен комбинацияланған күрделі илеуден, силикондық гидрофобты өңдеуден, әрлеуден және майлау, жұмсарту

өңдеулерінен өткен. Бұл көп сатылы технологиялық процесс былғарының беріктігін, термиялық тұрақтылығын, суға төзімділігін және қызмет ету мерзімін арттырады. Алайда, осы процестердің салдарынан коллаген талшықтарының тығыздалуы терінің табиғи икемділігін төмендетуі мүмкін.

Қорытындылай келе, былғарыны әрлеу – оның механикалық тұтастығын, термиялық және суға төзімділігін, сондай-ақ эстетикалық қасиеттерін арттыратын, жоғары технологиялық және күрделі процесс болып табылады. Зерттеу былғары өнімдерінің сапасын арттыру үшін микроскопиялық бақылаудың маңыздылығын көрсетеді.

Әдебиеттер тізімі

1. Ozgunay H., Çolak S., Mutlu M., Akyuz F. Characterization of Leather Industry Wastes // Pol. J. Environ. Stud. – 2007. – Vol. 16.
2. Ariram N., Madhan B. Development of bio-acceptable leather using bagasse // J. Clean. Prod. – 2020. – Vol. 250. – P. 119441.
3. Sathish M., Madhan B., Rao J. R. Leather solid waste: An ecobenign raw material for leather chemical preparation – A circular economy example // J. Waste Manag. – 2019. – Vol. 87. – P. 357-367.
4. Mohamed O., Moustafa A., Mehawed M., El-Sayed N. Styrene and butyl methacrylate copolymers and their application in leather finishing // J. Appl. Polym. Sci. – 2009. – Vol. 111. – P. 1488-1495.
5. Basaran B., Yorgancioglu A., Onem E. A novel approach in leather finishing: Surface modification with flock fibers // Text. Res. J. – 2012. – Vol. 82. – P. 1509-1516.
6. Liao L. L., Shan Z. H. Leather Chemical and Technology. – Beijing: Chemical Industry Publishing Company, 2005.
7. Heidemann E. Fundamentals of Leather Manufacturing. – Darmstadt: Eduard Roether KG, 1993. – P. 469.
8. Jayakumar R., Lee Y.-S., Nanjundan S. Synthesis and Coating Characteristics of Novel Calcium-Containing Poly(urethane ethers) // J. Appl. Polym. Sci. – 2004. – Vol. 92, No. 2. – P. 710-721.
9. Shi H., Chen Yi, Fan H., Xiang J., Shi Bi. Thermosensitive Polyurethane Film and Finished Leather with Controllable Water Vapor Permeability // J. Appl. Polym. Sci. – 2010. – Vol. 117, No. 3. – P. 1820-1827.
10. Gulbinienė A., Jankauskaitė V., Urbelis V. The Influence of Laminated Leather Structure on the Water Vapour Absorption and Desorption Behaviour // Materials Science (Medžiagotyra). – 2008. – Vol. 14, No. 1. – P. 44-50.
11. Bacardit A., Shendrik A., Combalia F., Jorge J., Olle L. Study of Cross-linking Reactions on Butadiene Binders in Aqueous Finishing // J. Soc. Leather Technol. Chem. – 2010. – Vol. 94, No. 6. – P. 248-252.
12. Qinhuan Y., Tingyou Zh., Zhengjun Li. Characterization and Application of Low Surface Energy Fluorinated Polymer in Leather Finishing // J. Soc. Leather Technol. Chem. – 2010. – Vol. 94, No. 3. – P. 106-110.
13. Hu J., Ma J., Deng W. Properties of acrylic resin/nano-SiO2 leather finishing agent prepared via emulsifier-free emulsion polymerization // Materials Lett. – 2008. – Vol. 62, No. 17–18. – P. 2931-2934.
14. Hu J., Ma J., Deng W. Synthesis of Alkali-soluble Copolymer (Butyl acrylate/Acrylic acid) and Its Application in Leather Finishing Agent // Eur. Polym. J. – 2008. – Vol. 44, No. 8. – P. 2695-2701.
15. Olle L., Shendryck A., Combalia F., Jorge J., Bacardit A. Polysilane Cross-Linked Binders for Aqueous Finishing // J. Soc. Leather Technol. Chem. – 2010. – Vol. 94, No. 3. – P. 111-116.
16. Fan H., Li L., Fan X., Shi Bi. The Water Vapour Permeability of Leather Finished by Thermally-responsive Polyurethane // J. Soc. Leather Technol. Chem. – 2005. – Vol. 89, No. 3. – P. 121-125.

17. Peizhi Li, Yiding Sh., Xiaowu Y., Ganghui Li. Preparation of Cationic Fluorinated Polyurethane Micro emulsion and its Application in Leather Finishing // J. Soc. Leather Technol. Chem. – 2010. – Vol. 94, No. 6. – P. 240-247.
18. Kwak Y.-S., Park S. W., Lee Y.-H., Kim H. D. Preparation of Waterborne Polyurethanes for Water-Vapor Permeable Coating Materials // J. Appl. Polym. Sci. – 2003. – Vol. 89, No. 1. – P. 124-129.
19. Asif A., Hu L., Shi W. Synthesis, Rheological, and Thermal Properties of Waterborne Hyperbranched Polyurethane Acrylate Dispersions for UV Curable Coatings // Colloid Polym. Sci. – 2009. – Vol. 287, No. 9. – P. 1041-1049.
20. Kumazawa Y., Taga Y., Iwai K., Koyama Y. A rapid and simple LC-MS method using collagen marker peptides for identification of the animal source of leather // J. Agric. Food Chem. – 2016. – Vol. 64, No. 30. – P. 6051-6057.
21. Thomasset A., Benayoun S. Assessing the durability of diverse leather tanning techniques for the manufacturing of leather goods through artificial aging processes // Clean. Eng. Technol. – 2024. – Vol. 22. – P. 100807.
22. Zhang Y., Chen Z., Liu X., Shi J., Chen H., Gong Y. REM, FTIR and DSC investigation of collagen hydrolysate treated degraded leather // J. Cult. Herit. – 2021. – Vol. 48. – P. 205-210.
23. Falcão L., Araújo M. E. M. Application of ATR–FTIR spectroscopy to the analysis of tannins in historic leathers: the case study of the upholstery from the 19th century Portuguese Royal Train // Vib. Spectrosc. – 2014. – Vol. 74. – P. 98-103.
24. Vichi A., Eliazyan G., Kazarian S. G. Study of the degradation and conservation of historical leather book covers with macro attenuated Total reflection-Fourier transform infrared spectroscopic imaging // ACS Omega. – 2018. – Vol. 7. – P. 7150-7157.
25. Narayanan P., Janardhanan S. K. An approach towards identification of leather from leather-like polymeric material using FTIR-ATR technique // Collag. Leath. – 2024. – Vol. 6, No. 1.
26. Brandt L., Mannering U. Taxonomic identification of Danish Viking age shoes and skin objects by ZooMS (Zooarchaeology by mass spectrometry) // J. Proteome – 2021. – Vol. 231. – P. 104038.
27. Sebestyén Z., Badea E., Carsote C., Czégény Z., Szabó T., Babinszki B., Bozi J., Jakab E. Characterization of historical leather bookbindings by various thermal methods (TG/MS, Py-GC/MS, and micro-DSC) and FTIR-ATR spectroscopy // J. Anal. Appl. Pyrolysis. – 2022. – Vol. 162. – P. 105428.
28. Mirghani M., Salleh H., Man Y. B., Jaswir I. Rapid authentication of leather and leather products // Adv. Nat. Appl. Sci. – 2012. – Vol. 6. – P. 651–659.
29. Dohshi S. Quantitative estimation of hair follicle patterns for leather surface using k-function (L-function): method (2): influence of individual and location differences for sheepskins // J. Soc. Leath. Technol. Chem. – 2013. – Vol. 97. – P. 145–148.
30. Mirzamutratova R. Sh., Kaldybaev R. T., Bayramogoglu E. The effect of walnut (Juglans regia) shell on the stability of leather dye // Almaty Technol. Univ. Bull. – 2024. – No. 1(143). – P. 223-230. https://doi.org/10.48184/2304-568X-2024-1-223-230.
31. Mirzamutratova R. Sh., Kaldybaev R. T., Bayramogoglu E. Effect of natural dyes on the leather strength // Almaty Technol. Univ. Bull. – 2024. – No. 4(146). – P. 186–192. https://doi.org/10.48184/2304-568X-2024-4-186-192.

Материал редакцияға 12.11.25 түсті, 20.01.26 қабылданды.

Р.М. Егемберди[1], Р.Ш. Мирзамуратова[1], Е.Е. Байрамоглу[2]

[1]Южно-Казахстанский Университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
[2]Университет Эге, Измир, Турция

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТДЕЛКИ НА СТРУКТУРУ КОЖИ МЕТОДОМ МИКРОСКОПИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Аннотация. Данная научная работа была посвящена исследованию влияния процесса отделки кожи на её микроструктуру и химический элементный состав. В исследовании использовались образцы полуфабриката, дублённого хромом (Wet blue), и готовой, полностью отделанной кожи. В качестве основного метода применялись Растровая Электронная Микроскопия (РЭМ) и элементный анализ. Метод РЭМ позволил с высоким разрешением наблюдать морфологию коллагеновых волокон, их плотность и изменения после обработки (деформация, формирование отделочного слоя). Было установлено, что при переходе от состояния Wet blue к отделанной коже в состав были введены такие важные элементы, как Титан (Ti), Кремний (Si), Алюминий (Al) и Фосфор (P). Это доказало, что кожа прошла комбинированное хромо-титановое дубление, ей была придана гидрофобность с помощью кремнийорганических соединений, и было произведено окрашивание пигментом на основе TiO_2. Доля остаточного Натрия (Na) и Хлора (Cl) в отделанной коже значительно снизилась по сравнению с образцом Wet blue. Механические обработки в ходе отделочных работ уплотняли и выравнивали поверхностный слой кожи, повышая её водонепроницаемость. Однако, хотя такая деформация объединяла коллагеновые волокна и увеличивала общую прочность кожи, она могла снижать её природную эластичность.

Ключевые слова: состав кожи, отделка кожи, выделка, хром, РЭМ.

R.M. Yegemberdi[1], R.Sh. Mirzamuratova[1], E.E. Bayramoğlu[2]

[1]M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan
[2]Ege University, Izmir, Turkiye

DETERMINATION OF THE EFFECT OF FINISHING ON THE LEATHER STRUCTURE BY THE METHOD OF MICROSCOPIC EXAMINATION

Abstract. This scientific work was devoted to investigating the effect of the leather finishing process on its microstructure and chemical elemental composition. The study utilized samples of chrome-tanned semi-finished product (Wet blue) and ready-made, fully finished leather. The primary methods employed were Scanning Electron Microscopy (SEM) and elemental analysis. The SEM method allowed for high-resolution observation of the morphology of collagen fibers, their density, and changes after processing (deformation, formation of the finish layer). It was established that during the transition from the Wet blue state to the finished leather, important elements such as Titanium (Ti), Silicon (Si), Aluminum (Al), and Phosphorus (P) were introduced into the composition. This proved that the leather underwent combined chrome-titanium tanning, was made hydrophobic using organosilicon compounds, and was dyed with a TiO_2-based pigment. The proportion of residual Sodium (Na) and Chlorine (Cl) in the finished leather significantly decreased compared to the Wet blue sample. Mechanical treatments during the finishing operations densified and smoothed the surface layer of the leather, thereby increasing its water resistance. However, although this deformation consolidated the collagen fibers and increased the overall strength of the leather, it was found to potentially reduce its natural elasticity.

Keywords: leather composition, leather finishing, tanning, chrome, SEM.

ҒТАМР 64.33.81

М.Н. Әмірәлі[1] – *негізгі автор*,
Р.О. Жилисбаева[2]

[1]*Магистрант,* [2]*Техн. ғылым. профессоры*

[1]*https://orcid.org/0009-0007-5762-5406* [2]*https://orcid.org/0000-0002-5722-4617*

[1,2]*Алматы технологиялық университеті,*

Алматы, Қазақстан

[1]*meruert.nuralikyzy1702@gmail.com*

https://doi.org/10.55956/VINF1125

ӘСКЕРИ КИІМ ПАКЕТТЕРІНІҢ ФИЗИКАЛЫҚ-ХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Бұл мақалада сыртқы мата, жылулық материал және астар қабаттарынан тұратын он түрлі киім пакеттерінің физикалық, механикалық және функционалдық қасиеттері жан-жақты зерттелді. Зерттеу барысында Рип-Стоп және смесовая маталарының тозуға төзімділігі, ауа және су өткізгіштік көрсеткіштері, сондай-ақ Тинсулейт, Холлофайбер және синтепон жылулық материалдарының тиімділігі талданды. Әдіс ретінде салыстырмалы өлшеу, құрылымдық талдау және көрсеткіштерді сандық бағалау жүзеге асырылды. Нәтижелер әр пакет құрамының жылулық тиімділікке, беріктікке, ылғал мен ауа өткізгіштікке әсерін анық көрсетті. Жұмыстың тәжірибелік маңызы-өндірісте қолданылатын киім материалдарын дұрыс таңдау үшін нақты ғылыми негіздеу ұсыну.

Тірек сөздер: киім пакеті, Рип-Стоп, смессовая мата, Тинсулейт, Холлафайбер, Синтепон, тозуға төзімділік, жылулық тиңмдңлңк, ауа өткізгіштік, су өткізгіштік.

Әмірәлі, М.Н. Кучарбаева, К.Ж. Әскери киім пакеттерінің физикалық-химиялық және функционалдық қасиеттерін зерттеу [Мәтін] / М.Н. Әмірәлі, Р.О. Жилисбаева //Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.169-176. https://doi.org/10.55956/VINF1125

Кіріспе. Қазіргі киім өндірісінде көпқабатты материалдардан жасалған бұйымдардың сапасы қолданылатын маталардың физикалық-химиялық және функционалдық қасиеттеріне тікелей байланысты. Әсіресе арнайы қорғаныш, әскери-тактикалық және жұмыс киімдерін жобалауда материалдардың беріктігі, жылулық тиімділігі, су мен ауа өткізу қабілеті ерекше рөл атқарады. Соңғы жылдары киім пакеттерін ғылыми негізде құрастыру қажеттілігі артып отыр, себебі климаттық жағдайлар, пайдалану ортасы және эксплуатациялық жүктемелер маталардың нақты сипаттамаларын талап етеді.

Бұл зерттеудің өзектілігі – киім өндірісінде кең қолданылатын Рип-Стоп, смесовая маталары мен әртүрлі жылулық оқшаулағыштардың нақты қасиеттерін салыстыра бағалау, олардың тиімді комбинацияларын анықтау. Жаңалығы – 10 түрлі пакетке сандық талдау жүргізіліп, әрқайсысының нақты көрсеткіштері негізінде ғылыми қорытынды жасалуы.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Зерттеу нысаны ретінде үш қабатты он түрлі киім пакеті алынды. Әр пакет құрамына:

– сыртқы мата (Рип-Стоп немесе смесовая),

– жылулық қабат (Тинсулейт, Холлофайбер немесе Синтепон, 200 г/м²),

– астарлық материал (флис 240–260 г/м² немесе тафета 210 г/м²) кірді.

Қолданылған зерттеу әдістері:

Физика-механикалық өлшеулер – тозуға төзімділік (циклдер), созылу беріктігі, жыртылуға төзімділік.

Гигиеналық көрсеткіштерді бағалау – ауа өткізгіштік (г/м²/24 сағ), бу өткізгіштік, ішкі микроклимат талдауы.

Су өткізгіштік сынағы – гидростатикалық қысымға төзімділік (мм H_2O).

Жылулық тиімділік коэффициентін есептеу – жылу кедергісі мен материал тығыздығы негізінде салыстырмалы индексация.

Барлық мәліметтер салыстырмалы кесте мен графиктік диаграммалар арқылы талданды.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Киім өндірісінде қолданылатын материалдар әскери, өндірістік және тактикалық жағдайларға бейімделген болуы тиіс. Бұл зерттеуде Қазақстан климаттық ерекшеліктеріне сай сыртқы мата түрлері сыналды.

Әскери киімдер мен жабдықтарды әзірлеу – бұл жоғары сапалы материалдар мен күрделі технологиялық процестерді талап ететін өте маңызды әрі жауапты жұмыс. Бұл салада өнімнің тиімділігі мен қауіпсіздігі ең алдымен пайдаланылатын материалдардың сапасына байланысты. Технологиялық процесс кезеңдері барлық параметрлерді ескере отырып, әскери қызметкердің өмірін сақтап қалуды және оның жұмысының тиімділігін арттыруды мақсат етеді.

Әскери киімдер мен жабдықтарды дайындау технологиясы бірнеше кезеңнен тұрады, әрбір кезеңде материалдардың қасиеттері мен мүмкіндіктері мұқият зерттеліп, сыналады. Әрбір кезеңнің мақсаты – жауынгердің қауіпсіздігін қамтамасыз ету және оның жұмыс қабілетін арттыру.

Қазақстанның Қорғаныс министрлігі мен әскери өнеркәсіптік кешені өз өнімдерін жетілдіру барысында жаңа материалдар мен технологияларды зерттеп, қолдануда. Сонымен қатар, Қазақстанда өндірілетін әскери жабдықтарда жергілікті климатқа бейімделген арнайы материалдар, су өткізбейтін және жел өткізбейтін қасиеттерге ие текстильдер кеңінен қолданылады.

Сыртқы маталардың салыстырмалы талдауы. Сыртқы мата – киімнің қорғаныштық қабаты, ол бұйымды сыртқы орта әсерлерінен (жел, қар, жаңбыр, су, кір, үйкеліс) сақтайды. Қазіргі таңда қыстық және спорттық киімдерде таслан, дюспо, мембраналы мата, оксфорд, габардин және плащевка сияқты синтетикалық негіздегі маталар кең қолданылады. Бұл материалдар су өткізбейтін, жел тоқтататын және тозуға төзімді қасиеттерімен ерекшеленеді. Табиғи маталар, жүн, мақта немесе олардың қоспалары, күнделікті тұрмыстық және сәндік киімдерде жиі кездеседі. Сыртқы матаның сапасы жылулық қабаттың қорғалуына, киімнің ұзақ қолданылуына және эстетикалық көрінісіне әсер етеді.

Зерттеу жұмысында киім пакеттерінің функционалдық, физика-механикалық және гигиеналық қасиеттерін бағалау мақсатында сыртқы қабат ретінде екі түрлі тоқыма материалы пайдаланылды: Рип-Стоп (Штурм) және смесовая мата (ПЭ 50% / хлопок 50%). Аталған маталар табиғаты, талшықтық

құрамы, құрылымы және пайдалану саласы бойынша ерекшеленеді, сондықтан олардың қасиеттерін салыстыру зерттеу үшін маңызды ғылыми база болып табылады.

Сыртқы маталарға ғылыми сипаттама (зерттеуде қолданылған материалдар):

1. Рип-Стоп (Штурм), ПЭ 80% / ВМС 20%. Рип-Стоп (Штурм) – жоғары беріктікке және тозуға төзімділікке бағытталған полиэфир және вискоза қоспасынан тұратын тығыз тоқылған материал [1]. Негізгі талшықтық құрамы 80% полиэстер және 20% вискоза (ВМС). Рип-Стоп матасының құрылымы арнайы армирленген торлы тоқылыммен күшейтілген, бұл жыртылу кезінде тесіктің үлкейіп кетуіне жол бермейді. Матаның орташа тығыздығы 240-300 г/м², бұл оны жоғары механикалық және климаттық әсерлерге төзімді материалдар қатарына жатқызады [2,3].

2. Смесовая мата, ПЭ 50% / Хлопок 50%, 230 г/м². Смесовая мата – полиэстер мен табиғи мақта талшықтарының теңдей мөлшерде (50/50) қоспасынан жасалған, орташа тығыздықтағы тоқыма материалы [4,5]. Матаның тығыздығы 230 г/м², бұл оны салыстырмалы түрде жеңіл, тыныс алғыш және күнделікті қолдануға ыңғайлы материал ретінде сипаттайды [6]. Сыртқы қабат материалдардың салыстырмалы нәтижелері 1-кестеде көрсетілген.

Кесте 1

Сыртқы қабат маталарының салыстырмалы сипаттамасы

Сипаттамалар	Рип-Стоп, Штурм	Смесовая
Құрамы	80% полиэстер, 20% вискоза	50% полиэстер, 50% мақта
Тығыздығы (г/м²)	240-300	230
Созылу беріктігі (Н)	Ені б/ша: 900-1200, Ұзындығы б/ша: 700-1000	Ені б/ша: 600-800, Ұзындығы б/ша: 400-600
Тозуға төзімділігі (циклдер)	40 000-50 000	20 000-30 000
Суға төзімділік (мм H_2O)	500-1000	300-500
Тыныс алғыштығы (г/м²/24сағ)	300-400	400-500
Температураға төзімділігі	-40°С-тан +50°С-қа дейін	-30°С-тан +40°С-қа дейін
Салмағы (г/м²)	240–300	230
Электрленуі	Электрленуі төмен	Орташа электрлену
Жыртылуға төзімділігі	350-450Н	250-350Н
Өртке төзімділігі Жану уақыты	2–5 секунд	3–10 секунд
Өртке қарсы өңдеу болғанда	7–15 секунд	5–12 секунд

Астар материалдарының салыстырмалы талдауы. Киім өндірісінде қолданылатын маталардың әрқайсысы өзіндік ерекшеліктері мен қасиеттеріне ие. Бұл қасиеттер олардың қолдану саласын анықтап қана қоймай, белгілі бір мақсаттар үшін дұрыс таңдау жасауға мүмкіндік береді. Қарастырып отырған үш материал – қара флис, хаки флис және астарлық тафета – тығыздығы, жылу сақтау қабілеті, тозуға және жыртылуға төзімділігі, созылу қасиеті, су сіңіргіштігі, ауа өткізгіштігі, тактильдік әсері және жануға төзімділігі сияқты бірқатар параметрлер бойынша ерекшеленеді.

Ең алдымен, тығыздыққа тоқталсақ, қара флис 260 г/м² көрсеткішпен ең тығыз материал болып табылады, бұл оның жылуды тиімді сақтауына әсер етеді. Хаки флис одан сәл жеңіл – 240 г/м², ал тафета ең жеңіл материал – небәрі 210 г/м². Тығыздық материалдың беріктігі мен жылу сақтау қабілетіне тікелей ықпал ететіні белгілі. Астар материалдардың салыстырмалы нәтижелері 2-кестеде көрсетілген.

Кесте 2

Астар маталарды салыстыру кестесі

Сипаттама	Қара флис	Тафта қара	Хаки флис
Тығыздығы	260 г/м²	210 г/м²	240 г/м²
Құрамы	100% полиэстер	100% полиэстер	100% полиэстер
Су өткізгіштігі, мм су бағанасы	150-200мм	2500-3000мм	150-180мм
Жылу сақтау қабілеті clo	0,30-0,45	0,02-0,05	0,28-0,40
Ауа өткізгіштігі мм/с немесе л/м^2·с	150-300	5-20	150-280
Матаның қалыңдығы, мм	2,5-3,5	0,08-0,15	2,2-3,2
Созылу қасиеті (бойлық/көлденең), %	20-35/35-60	5-15/5-15	18-30/30-55
Тозуға төзімділік, цикл	20000-40000	5000-10000	18000-35000

Әр мата өзіндік ерекше қасиеттерімен ерекшеленеді. Флис жылу мен жайлылықты қамтамасыз етсе, тафта мата тозуға және ылғалға төзімді, ішкі киім үшін өте қолайлы.

Жылулық материалдардың салыстырмалы талдауы. Қазіргі жеңіл өнеркәсіпте жылу сақтау қасиеті жоғары, жеңіл әрі қауіпсіз қауіпсіз материалдарға деген сұраныс артып келеді. Жылулық маталар киімнің негізгі қызметі – жылуды сақтау. Жылулық матаериалдың сапасы сыртқы мата мен астармен бірге үйлескенде ғана толық ашылады.Үш қабаттың дұрыс таңдалуы киімнің функционалды, ұзақ мерзімді және жайлы болуын қамтамасыз етеді.

Жылулық оқшаулағыш материалдар киім пакеттерінің тиімділігін анықтайтын негізгі компоненттердің бірі болып табылады. Зерттеуде қолданылған үш жылу сақтауға қолданылатын материал, Тинсулейт [7], Холлофайбер және Синтепон, құрылымдық табиғаты мен физикалық қасиеттері бойынша өзара айтарлықтай ерекшеленеді. Тинсулейт микроталшықтардың өте жұқа, тығыз орналасқан құрылымына байланысты жоғары жылу оқшаулау қабілетін көрсетеді, сондықтан оның тиімділік коэффициенті 0,88-0,92 аралығында болып келеді [8]. Холлофайбер қуысты спиральді талшықтардан тұрады, бұл оған серпімділік пен орташа деңгейдегі жылулық тұрақтылық береді [9]. Синтепон құрылымы біркелкі емес талшықтардың термобекітілген қабатынан тұрады, бұл материалдың уақыт өте келе отыруына және жылу сақтау қасиетінің төмендеуіне әкелуі мүмкін. Жылулық материалдардың салыстырмалы нәтижелері 3-кестеде көрсетілген.

Кесте 3

Холлофайбер, Синтепон және Тинсулейт материалдарының салыстыру кестесі

Сипаттамалары	Холлофайбер	Синтепон	Тинсулейт
Құрамы (%)	100% полиэстер	100% полиэстер	100% микроталшықтар (полиэстер/полиолефин)
Тығыздығы (г/м²)	100-400	100-300	60-200
Жылу оқшаулау деңгейі (шартты шкала 1-10)	8	5	10
Серпімділік (%)	90-95	60-70	95-100
Салмағы (г/м²)	Орташа (150-400)	Жеңіл (100-300)	Өте жеңіл (60-200)
Ылғалға төзімділік (шартты шкала 1-10)	8	5	10
Ауа өткізгіштік (л/м²/сек)	10-15	5-8	15-20
Суға төзімділік (%)	100	50-60	100
Тозуға төзімділік (шартты шкала 1-10)	9	6	10
Гипоаллергендік (%)	100	70-80	100
Қолдану мерзімі (жыл)	5-7	2-4	7-10
Бағасы (шартты шкала 1-10)	6	3	9

Зерттеу барысында сыртқы мата, астар және жылулық материалдардың физикалық-механикалық, гигиеналық және эксплуатациялық қасиеттері талданып, олардың өзара әсері мен үйлесімділік деңгейі анықталды. Алынған нәтижелер киім конструкциясының сапасына тек жеке қабаттардың қасиеті ғана емесолардың бір-біріне дұрыс біріктірілуі де шешуші рөл атқаратынын көрсетті. Сондықтан зерттеудің келесі кезеңінде әртүрлі комбинациядан тұратын киім пакеттері құрастырылып, олардың тиімлігі кешенді түрде бағаланады.

10 киім пакеттерінің толық салыстырмалы нәтижелері. Киім пакетін құрастыру кезінде әр қабаттың функциясы, материалдардың өзара сәйкесиігі, жылу сақтау мүмкіндігі, ауа және бу өткізгіштік көрсеткіштері ескерілді. Сонымен қатар өндірістік тиімділік, технологиялық қолайлылық жіне дайын бұйымның қолдану мақсаты да негізге алынды. Осы талаптарға сүйене отырып, тәжірибелік бөлімді сыртқы мата, астар және жылулық материалдардың он түрлі үйлесімі жасалып, оларды салыстырмалы түрде талдау үшін жеке киім пакеттері ретінде жүйеленді. Киім пакеттерінің салыстырмалы нәтижелері 4-кестеде көрсетілген.

Кесте 4

Материалдардың салыстыру кестесі

Пакет №	Сыртқы мата	Жылулық қабат	Астар	Жалпы салмақ (г/м²)	Жылулық тиімділік коэффициенті	Тозуға төзімділік	Ауа өткізгіштік (г/м²/24 сағ)	Су өткізбейді, (мм H_2O)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Рип-Стоп	Тинсулейт 200	Флис 260	730	0,92	45000	350	800

4-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Рип-Стоп	Холлофайбер 200	Флис 260	730	0,85	45000	350	800
3	Рип-Стоп	Синтепон 200	Флис 260	730	0,75	45000	350	800
4	Рип-Стоп	Тинсулейт 200	Флис 240	710	0,90	45000	350	800
5	Рип-Стоп	Тинсулейт 200	Тафета 210	680	0,88	45000	350	800
6	Смесовая	Тинсулейт 200	Флис 260	690	0,88	25000	450	400
7	Смесовая	Холлофайбер 200	Флис 260	690	0,82	25000	450	400
8	Смесовая	Синтепон 200	Флис 260	690	0,72	25000	450	400
9	Смесовая	Тинсулейт 200	Флис 240	670	0,86	25000	450	400
10	Смесовая	Тинсулейт 200	Тафета 210	640	0,84	25000	450	400

Қорытынды. Ұсынылған киім пакеттері материалдардың функцияналдық қасиеттерін нақты жағдайларда бағалауға, олардың конструкциялық тиімділігін анықтауға, сондай-ақ практикалық қолдануға ең қолайлы нұсқаларды белігленуге мүмкіндік береді. Әр пакет белгіле бір климаттық жағдайлар мен пайдалану ортасына арналғандықтан, олардың ерекшеліктерін зерттеу киімнің сапасын арттыруға бағытталған маңызды қадам болып табылады. Осыған байланысты түрлі киім пакеті ұсынылып, олардың құрамдық ерекшеліктері мен ғылыми негізделгін тиімділік көрсеткіштері қарастырылады.

Жүргізілген зерттеу нәтижелері киім пакеттерінің сапасы мен функционалдық мүмкіндіктері олардың құрамындағы материалдардың қасиеттерімен тікелей байланысты екенін айқын көрсетті. Зерттеуге алынған он түрлі пакет сыртқы мата, жылулық оқшаулағыш және астар қабаттарының өзара үйлесімділігін бағалауға мүмкіндік берді. Сыртқы қабат ретінде қолданылған Рип-Стоп және смесовая маталарының салыстырмалы талдауы олардың эксплуатациялық қасиеттерінің айтарлықтай айырмашылығы бар екенін дәлелдеді. Рип-Стоп матасы жоғары тозуға және суға төзімділік көрсеткіштерімен ерекшеленсе, смесовая мата ауа өткізгіштік және қолайлылық жағынан тиімді екені анықталды.

Жылулық материалдар бойынша жүргізілген зерттеу Тинсулейттің жылу оқшаулау тиімділігі жағынан ең жоғары көрсеткішке ие екенін көрсетті. Холлофайбер орташа тұрақтылық көрсетсе, синтепонның жылулық қасиеті мен эксплуатациялық тұрақтылығы салыстырмалы түрде төмен деңгейде болды. Астар материалдарын салыстыру флис маталарының жылу сақтау мен жайлылық тұрғысынан тиімді екенін, ал тафета тозуға төзімділігімен ерекшеленетінін көрсетті.

Осы үш қабаттың, сыртқы мата, жылулық материал және астар, дұрыс үйлесуі киім пакеттерінің практикалық тиімділігін арттыратыны дәлелденді. Әсіресе Тинсулейт пен Рип-Стоп матасымен үйлескен пакеттердің жылулық және механикалық беріктік көрсеткіштері ең жоғары нәтиже көрсетті. Смесовая мата негізіндегі пакеттер жеңіл және ауа өткізгіш болғанымен, экстремалды жағдайларға қарағанда орташа климаттық ортаға анағұрлым қолайлы екені анықталды.

Зерттеу нәтижелері киім өндірісінде материалдарды ғылыми негізде таңдау қажеттілігін көрсетеді. Алынған мәліметтер арнайы, әскери-тактикалық және жұмыс киімдерін жобалауда, сондай-ақ олардың эксплуатациялық қасиеттерін болжауда маңызды практикалық бағдар ретінде қызмет етеді. Болашақта зерттеу аясын кеңейтіп, материалдардың микроклиматтық әсерін, ұзақ мерзімді тозу сынақтарын және көпқабатты

жүйелердің компьютерлік модельденуін қарастыру киім пакеттерінің тиімділігін арттыруға үлес қосатыны анық.

Әдебиеттер тізімі

1. Mathews D. Ripstop Fabric – Everything You Need To Know // Fabrics. Brydenapparel. – 2023.
2. Ripstop Fabric Guide: Enhancing Safety & Performance [Electronic resource]. – Access mode: https://Ripstopfabric.com.
3. Benltoufa S., Algamdy H. Breathability and dynamic evaporative cooling heat flow of a ripstop defence fabric //Tekstilec. – 2025. – Vol. 68. – No. 1. – P. 70-81. https://orcid.org/0000-0001-6520-0802.
4. Рысбаева И.А. Исследование состава и свойств текстильных материалов специального назначения [Текст] / И.А. Рысбаева, А.М. Мазарипова //Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. – 2018. – №. 1. – С. 254-259.
5. Преимущества и недостатки ткани 50% хлопок 50% полиэстер, области применения и , о чем говорит состав? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gidpotkanyam.ru.
6. Смесовые ткани – состав, свойства и применение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: textilegu.ru.
7. 3M™ Thinsulate™ Insulation. Technical Data Sheets [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://3m.com.
8. 3M™ Thinsulate™ Insulation Type G. Technical Data Sheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://multimedia.3m.com
9. HSIEH Y. Polyester Fibers //Surface Characteristics of Fibers and Textiles. – 2000. – Vol. 94. – P. 33.

Материал редакцияға 24.11.25 түсті, 09.03.26 қабылданды.

М.Н. Әмірәлі[1], Р.О. Жилисбаева[1]

[1]Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПАКЕТОВ ВОЕННОЙ ОДЕЖДЫ

Аннотация. В данной статье проведено всестороннее исследование физических, механических и функциональных свойств десяти видов пакетов одежды, включающих внешний материал, теплоизоляционный слой и подкладку. В ходе исследования были проанализированы показатели износостойкости, воздухопроницаемости и водоупорности тканей Rip-Stop и смесовой ткани, а также эффективность теплоизоляционных материалов Thinsulate, Hollowfiber и синтепона. В качестве методов исследования использовались сравнительные измерения, структурный анализ и количественная оценка характеристик. Полученные результаты показали влияние состава каждого пакета на теплоэффективность, прочность, влаго- и воздухопроницаемость изделий. Практическая значимость работы заключается в предоставлении научно обоснованных рекомендаций по правильному выбору материалов одежды, применяемых в промышленности.

Ключевые слова: пакет материалов, Рип-Стоп, смесовая ткань, Тинсулейт, Холлофайбер, синтепон, износостойкость, теплоэффективность, воздухопроницаемость, водонепроницаемость.

M.N. Amirali[1], R.O. Zhilisbayeva[1]

[1]*Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan*

STUDY OF THE PHYSICO-CHEMICAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF MILITARY CLOTHING PACKAGES

Abstract. This article presents a comprehensive study of the physical, mechanical, and functional properties of ten types of clothing packages composed of an outer fabric, thermal insulation material, and lining. The research analyzed the wear resistance, air permeability, and water resistance of Rip-Stop and blended fabrics, as well as the thermal efficiency of Thinsulate, Hollowfiber, and synthetic padding (sintepon). Comparative measurement methods, structural analysis, and quantitative evaluation techniques were applied. The results demonstrated how the composition of each package influences thermal performance, durability, moisture resistance, and air permeability. The practical significance of the study lies in providing scientifically grounded recommendations for the proper selection of clothing materials used in industrial applications.

Keywords: clothing package, Rip-Stop, blended fabric, Thinsulate, Hollowfiber, synthetic padding (sintepon), wear resistance, thermal efficiency, air permeability, water resistance.

References

1. Mathews D. Ripstop Fabric – Everything You Need To Know // Fabrics. Brydenapparel. – 2023.
2. Ripstop Fabric Guide: Enhancing Safety & Performance [Electronic resource]. – Access mode: https://Ripstopfabric.com.
3. Benltoufa S., Algamdy H. Breathability and dynamic evaporative cooling heat flow of a ripstop defence fabric //Tekstilec. – 2025. – Vol. 68. – No. 1. – P. 70-81. https://orcid.org/0000-0001-6520-0802.
4. Rysbaeva I.A., Mazaripova A.M. Issledovanie sostava i svoystv tekstil'nykh materialov spetsial'nogo naznacheniya [Study of the composition and properties of special-purpose textile materials] // Proceedings of the I. Razzakov Kyrgyz State Technical University. – 2018. – No. 1. – P. 254-259. [in Russian].
5. Advantages and disadvantages of 50% cotton / 50% polyester fabric, areas of application and what does the composition indicate? [Electronic resource]. – Access mode: https://gidpotkanyam.ru.
6. Blended fabrics – composition, properties and application [Electronic resource]. – Access mode: textilegu.ru.
7. 3M™ Thinsulate™ Insulation. Technical Data Sheets [[Electronic resource]. – Access mode: https://3m.com.
8. 3M™ Thinsulate™ Insulation Type G. Technical Data Sheet [Electronic resource]. – Access mode: https://multimedia.3m.com
9. HSIEH Y. Polyester Fibers //Surface Characteristics of Fibers and Textiles. – 2000. – Vol. 94. – P. 33.

МРНТИ 64.29.15

Х.Ю. Улугмурадов[1] – *основной автор*,
Э.Т. Мухаметшина[2], Р.М. Мурадов[3]

[1]Канд. техн. наук., ассоц. профессор [2]PhD, [3]Д-р техн. наук., профессор

[1]https://orcid.org/0000-0003-4878-8725 [2]https://orcid.org/0000-0002-2945-8440
[3]https://orcid.org/0000-0002-0443-2244

[1,2]Джизакский политехнический институт, Джизак, Узбекистан
[3]Наманганский государственный технический университет,
Наманган, Узбекистан

[1]mukhammadiyeva94@mail.ru

https://doi.org/10.55956/QSSI1189

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ФОРМЫ И РАЗМЕРА КОЛКОВ ОБОРУДОВАНИЯ ОЧИСТКИ ХЛОПКА ОТ МЕЛКИХ ПРИМЕСЕЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ХЛОПКА

Аннотация. В статье рассматривается и изучается устройство для очистки хлопка от мелких примесей, а также её основные элементы. Был создан лабораторный вариант очистительного оборудования, был освещен принцип его работы. Были определены задачи исследования, колки различной формы были установлены на лабораторное оборудование, проведены различные эксперименты и получены результаты эксперимента. Проанализировано влияние изменения формы и размера колков в процессе очистки хлопка на эффективность очистки оборудования, повреждение семян, а также количество дефектов и примесей в волокне. Полученные результаты были проанализированы для определения эффективности очистки оборудования и соответствия уровней повреждения волокон и семян государственным стандартам.

Ключевые слова: хлопок, очистка, волокно, сетчатая поверхность, колковый барабан, эффективность, мелкие примеси, дефект, семена, сорная примесь, сорт, пильный джин.

Улугмурадов, Х.Ю. Влияние изменений формы и размера колков оборудования очистки хлопка от мелких примесей на показатели качества хлопка [Текст] / Х.Ю. Улугмурадов, Э.Т. Мухаметшина, Р.М. Мурадов // Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №1(91). – С.177-184. https://doi.org/10.55956/QSSI1189

Введение. В целях создания новых технологий, энергосберегающих машин и оборудования для хлопкоочистки, повышения эффективности научно-инновационной деятельности в глубокой переработке хлопкового сырья и производства продукции с высокой добавленной стоимостью, а также обеспечения выполнения Постановления Президента Республики Узбекистан № ПК-308 от 7 июля 2022 г. «О дополнительных организационных мерах по повышению урожайности хлопчатника, внедрению науки и инноваций в выращивание хлопчатника», в нашей республике реализован широкий спектр мер, ведущих к улучшению потребительских свойств хлопковой продукции, технологических процессов первичной переработки хлопка и созданию высокоэффективных систем управления производством. В этой связи

достигаются значительные результаты, в том числе в получении хлопковой продукции определенного качества из сырья, перерабатываемого на хлопкоочистительных предприятиях, в зависимости от его исходных показателей, а также в совершенствовании техники и технологий очистки хлопка от мелких примесей. В то же время низкая эффективность хлопкоочистки и производительность производства остаются актуальной проблемой [1].

Исследования влияния геометрических параметров колков на эффективность очистки хлопка от мелких примесей активно проводятся в контексте совершенствования хлопкоочистительного оборудования. Эти параметры определяют разрыхление хлопка-сырца, захват примесей и их выведение через сетчатые поверхности, минимизируя повреждение волокон и семян [2-4]. Геометрические характеристики включают длину/высоту колков, диаметр, форму, количество на барабане и плотность (количество на единицу площади). Диаметр и заостренность влияют на трение и захват, а жесткость крепления – на колебания для дополнительного встряхивания [3,5,6].

Отделение мелких примесей от хлопка в основном осуществляется с помощью колково-планчатого барабана и сетчатой поверхностью [1].

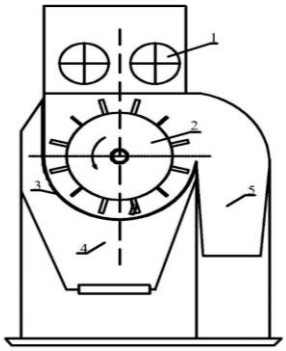
Главный недостаток устройства заключается в том, что процесс очистки хлопка сырца от мелких примесей в основном осуществляется на неподвижной сетчатой поверхности и колковом барабане, что приводит к увеличению повреждений хлопка и низкой производительности [7].

Условия и методы исследований. Были подготовлены чертежи предлагаемого оборудования для очистки хлопка от мелких примесей с помощью усовершенствованного колкового барабана, и на основе этих чертежей была разработана лабораторная установка. Подача хлопка в колковый барабан *2* осуществляется с помощью подающих роликов *1*, расположенных в корпусе усовершенствованного очистителя, с помощью которых хлопок проходит через сетчатую поверхность *3*, что приводит к отделению мелких примесей от сырья. Отделенные от хлопкового сырья примеси попадают в бункер для примесей *4*, а очищенное сырье – в бункер для очищенного хлопка *5*.

В лабораторном образце очистного оборудования экспериментально определялось влияние рабочих частей, геометрических размеров колково-планчатого барабана, формы и скорости подающих роликов, расстояния между колково-планчатым барабаном и сетчатой поверхностью, а также формы колков, изготовленных разных размеров, на эффективность очистки [8]. Общий вид экспериментального оборудования представлен на рисунке 1.

Ширина предлагаемого лабораторного оборудования для очистки хлопка от мелких примесей составляет 400 мм, высота – 1700 мм, расстояние между питающими валиками и осями колково-планчатого барабана – 300 мм, а расстояние между колково-планчатым барабаном и сетчатой поверхностью составляет – 14-18 мм.

Экспериментальная установка работает следующим образом: взаимно вращающиеся подающие ролики *1* передают хлопок на колково-планчатый барабан *2*. Колково-планчатый барабан отделяет мелкие примеси от хлопка, протягивая его по сетчатой поверхности *3*, и осуществляет процесс очистки. Отделенные от хлопка примеси попадают в бункер для сора *4* через отверстия на сетчатой поверхности. Очищенный хлопок собирается в бункере для хлопка через выходное отверстие *5* [9].



1 – питающие валики; 2 – колково-планчатый барабан; 3 – сетчатая поверхность; 4 – загрузочный бункер для сорных примесей, 5 – выход для очищенного хлопка.

Рис. 1. Общий вид экспериментального оборудования

Результаты исследований и их обсуждение. Эксперименты проводились в следующих вариантах:

– в существующем процессе очистки на колково-планчатых барабанах;

– без изменения количества оборотов существующего колково-планчатого барабана и в предлагаемом технологическом процессе;

– без изменения существующей сетчатой поверхности и в технологическом процессе с установленной предлагаемой формой сетчатой поверхности;

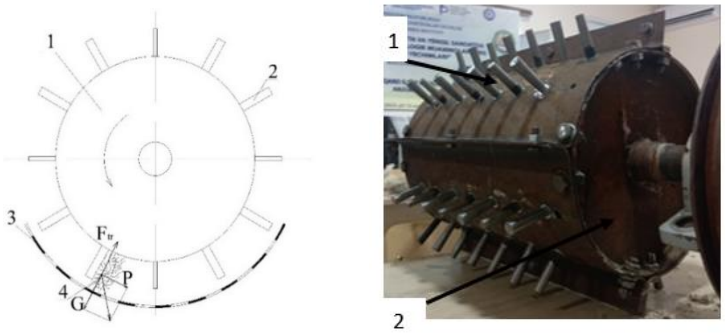
– влияние формы и размеров колково-планчатого барабана на хлопковое сырье в технологическом процессе;

– влияние расстояния 14-18 мм между сетчатой поверхностью и колково-планчатым барабаном на эффективность очистки оборудования. Каждый эксперимент повторялся 8 раз, и были получены средние значения полученных результатов.

Образцы отбирались до и после чистки. Определялось содержание влаги и степень загрязнения каждого образца хлопка. В ходе исследовательской работы изучалось влияние колково-планчатого барабана на хлопковое сырье. Анализ образцов, взятых в течение экспериментального периода, проводился в лаборатории кафедры «Технология обработки натуральных волокон и материала» на основе методик, приведенных в государственных стандартах O‘zDSt 632:2016, O‘zDSt 644:2006, O‘zDSt 592:2018 [10]. На рисунках 2 и 3 ниже показана схема и общий вид существующих и предлагаемых колков.

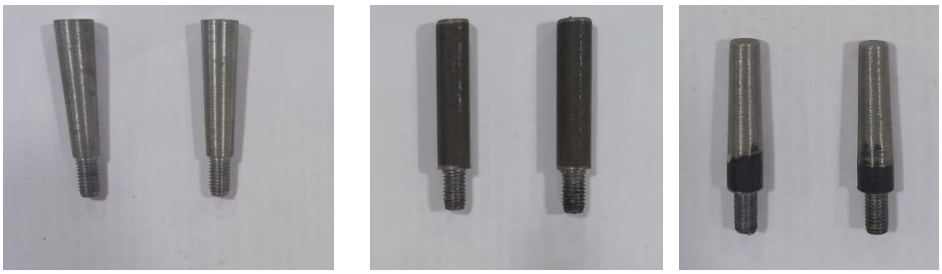
Первоначально была подготовлена лабораторный образец колково-планчатого барабана длиной 400 мм и диаметром 400 мм, имеющегося в ассортименте очистного оборудования, и были проведены эксперименты (рис. 1). Результаты экспериментов представлены в таблице 1.

После получения результатов на существующем лабораторном оборудовании с колково-планчатым барабаном и сетчатой поверхностью, были проведены эксперименты в лаборатории с изменением формы и размера колков (рис. 2). Результаты экспериментов зафиксированы в таблице 2. Колки, представленные на рисунке 3, были подготовлены разных размеров.

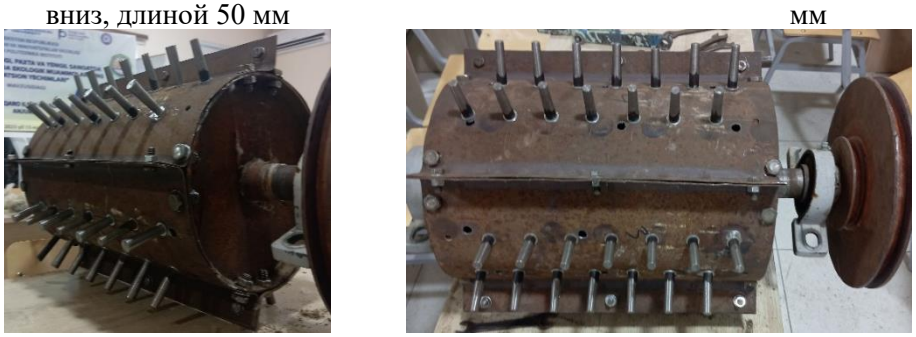


1 – колково-планчатый барабан; 2 – колки; 3 - сетчатая поверхность; 4 – летучка хлопка.

Рис. 2. Схема и общий вид существующего колково-планчатого барабана для очистки хлопка



Колышек с конусообразным наконечником, направленным вниз, длиной 50 мм | Колышек длиной 52 мм | Конусообразные колышки длиной 50 мм



Колково-планчатый барабан, конус которого направлен вниз, и установленными конусообразными колками

Рис.3. Предлагаемое оборудование для очистки хлопка от мелких примесей: колково-планчатый барабан и колки

Таблица 1

Результаты испытаний, проведенных на лабораторном устройстве с колково-планчатым барабаном

№	Показатели	Единица измерения	Колково-планчатый барабан	
			существующий	предлагаемый
1	2	3	4	5
1	- Селекиця хлопка - сорт хлопка - класс хлопка		Султан II 2	Султан II 2

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
2	- влажность хлопка перед оборудованием - загрязненность хлопка	% %	10,1 8	10,1 8
3	- влажность хлопка после оборудования - загрязненность хлопка	% %	10,1 4,6	10,1 4,35
4	Эффективность очистки оборудования	%	42,5	45,6
5	Производительность оборудования	кг/час	7000	7000
6	Массовая доля дефектных волокон и примесей в волокне после очистки волокна	%	2,3	2,0
7	- опушенность семян после джинирования - повреждаемость семян	% %	10,9 3,5	10,5 3,15

а б в

а) внешний вид неочищенного хлопка-сырца; б) внешний вид очищенного хлопка-сырца; в) отделенные мелкие примеси.

Рис.4. Внешний вид очищенного хлопка от мелких примесей и чистого очищенного хлопка

Сравнительные экспериментальные исследования проводились на промышленных сортах отборного хлопка Султан I/1 и отборного хлопка Султан II/2.

Экспериментальные исследования проводились на основе установленной методической методики.

Как известно, новая технология удаления мелких примесей из хлопка отличается от своих предшественников конструктивными преимуществами.

При выборе геометрических размеров колков оборудования для отделения мелких примесей проводились эксперименты с различными значениями диаметра колков и расстояния между сетчатой поверхностью и ее размерами. Для изучения улучшенной сетчатой поверхности в очистном оборудовании и влияния движения хлопка на повреждение волокон и семян форма и размер сетчатой поверхности выбирались с учетом расстояния между вершиной колка и сетчатой поверхностью.

Сначала был проведен эксперимент с существующей сетчатой поверхностью. При очистке в машине хлопка промышленного сорта «Султан» селекции II с влажностью 10,1% и средним содержанием примесей 8%, среднее содержание примесей в хлопке после обработки составило 4,6%, а

эффективность очистки машины – 42,5%. При определении эффективности машины хронометрическим методом она составила в среднем 7000 кг/ч.

Заключение. Для определения качества волокна в очищенном хлопке хлопок джинировали на 10-пильном джине в лаборатории, а затем очищали в очистителе волокна в лаборатории. Для определения качества очищенного волокна отбирали образцы 8 раз, анализировали их и брали среднее значение. Было установлено, что массовая доля дефектных волокон и примесей в волокне после очистителя волокна составила в среднем 2,0%, а показатель качества относится к классу I «Высокий» согласно государственному стандарту O‘zDst 632:2016.

Для определения качества хлопка были взяты образцы из очищенных семян и проанализированы в лабораторных условиях. Средняя опушенность очищенных семян составила 10,9%, а средняя степень повреждения – 3,5%. Этот показатель был достигнут при использовании эластичного колково-планчатого барабана с решетчатыми лопастями в оборудовании. При очистке хлопка промышленного сорта «Султан» селекции II с влажностью 10,1% и средним содержанием загрязнений 8% в оборудовании среднее содержание загрязнений в очищенном хлопке составило 4,35%, а качество хлопка улучшилось в среднем на 0,25% по сравнению с качеством хлопка, полученного с помощью существующего барабанного оборудования. Было установлено, что эффективность очистки хлопка с помощью данного оборудования составила в среднем 45,6%, что на 3,1% выше, чем эффективность очистки с помощью существующего барабанного оборудования. Было установлено, что производительность оборудования составляла в среднем 7000 кг/час, а эффективность очистки оборудования повысилась в среднем на 3% по сравнению с существующей кучей отходов, взятой для эксперимента.

Для определения качества волокна в очищенном хлопке хлопок сначала очистили на 20-пильном хлопкоочистительном оборудовании. В этом случае средняя опушенность семян после очистки составила 10,9%, а уровень опущенности семян снизился на 0,4 % (абс.). Среднее повреждение семян составило 3,5%, что на 0,35% (абс.) меньше по сравнению с повреждением семян, полученным на существующем хлопкоочистительном станке, и качество семян улучшилось.

Волокно, полученное после очистки хлопка, через форсунку хлопкоочистительного станка поступало в очиститель волокна и очищалось. Массовая доля дефектных волокон и примесей в очищенном волокне составила в среднем 2,3%, а качество волокна улучшилось на 0,3% (абс.), что определило его принадлежность ко II классу «Олий» согласно государственному стандарту O‘zDst 632:2016.

Список литературы

1. Ulugmuradov H.Yu., Abbazov I.Z., Muradov R.M. Study on improving the efficiency of cleaning the pile drum // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2020. – Vol. 614. – No. 1. – P. 012127.
2. Usmanov Kh.S., Rosulov R.Kh., Karshiev O.N. Obosnovanie vysoty kolkov barabanov ochistitelya khlopka ot melkogo sora [Justification of the Height of Spikes of Cotton Cleaning Drum for Small Impurities] // Universum: Technical Sciences. – 2024. – No. 6(123). [in Russian].
3. Rajabov I.Ya., Murodov O.Zh. Vliyanie ispolzovaniya novogo uluchshennogo shneka pri ochistke khlopka na effektivnost ochistki [Influence of Using a New Improved

Auger in Cotton Cleaning on Cleaning Efficiency] // Journal of Engineering, Mechanics and Modern Architecture. – 2023. – Vol. 2. – No. 3. [in Russian].
4. Kholmuratov O.Ya., Utashov Z. Teoreticheskie osnovy protsessa ochistki khlopka ot malykh primesey [Theoretical Foundations of Cotton Cleaning from Small Impurities] // Universum: Technical Sciences : Electronic Scientific Journal. – 2023. – No. 11(116). [in Russian].
5. Djuraev A., Sayitkulov S., Mavlyanov A., Kholmirzaev Zh., Zhuraeva M. Analiz vliyaniya diametra kolkov barabana khlopkoochistitel'nogo agregata na effektivnost ochistki khlopka-syrtsa [Analysis of the Influence of Drum Spike Diameter on the Cleaning Efficiency of Raw Cotton] // Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2022. – 2(1). – P. 51-56. [in Russian].
6. Obidov A., Khudayberdiyeva D. Improvement of a Device for Cleaning Cotton from Small Impurities // Engineering. – 2025. – Vol. 17. – P. 413-423.
7. Ulug'muradov Kh.Y., Abbazov I.Z., Mukhametshina E.T. Analysis of cleaning machines in cotton plant // Zbiór artykułów naukowych recenzowanych. – 2020. – No. 13.
8. Muradov R., et al. Principles of making pile of cotton cleaning machines from elastic material // Universum: Tekhnicheskie nauki. – 2022. – Vol. 10. – No. 6(103). – P. 5-9.
9. Sharopov B., Muradov R., Novruzov S. Principles of making piles from elastic material when cleaning cotton from small impurities // Universum: Tekhnicheskie nauki. – 2024. – Vol. 8. – No. 3(120). – P. 16-20.
10. Ulugmuradov Kh., et al. Basis of the improved construction of cotton cleaning equipment // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 434.

Материал поступил в редакцию 21.12.25, принят 19.03.26.

Х.Ю. Улугмурадов[1], Э.Т. Мухаметшина[1], Р.М. Мурадов[2]

[1]Жизақ политехникалық институты, Жизақ, Өзбекстан Республикасы
[2]Наманган мемлекеттік техникалық университеті,
Наманган, Өзбекстан Республикасы

МАҚТАНЫ ҰСАҚ ҚОСПАЛАРДАН ТАЗАРТУ ЖАБДЫҚТАРЫНЫҢ СЫНЫҚТАРЫНЫҢ ПІШІНІ МЕН МӨЛШЕРІНІҢ ӨЗГЕРУІНІҢ МАҚТА САПАСЫНЫҢ КӨРСЕТКІШТЕРІНЕ ӘСЕРІ

Аңдатпа. Мақалада мақтадан ұсақ қоспаларды тазалау құрылғысы және оның негізгі элементтері қарастырылып, зерттелді. Лабораториялық тазалау жабдығының нұсқасы жасалды және оның жұмыс принципі көрсетілді. Зерттеудің міндеттері анықталды, әртүрлі формадағы қырқыштар лабораториялық жабдыққа орнатылды, әртүрлі тәжірибелер жүргізіліп, эксперимент нәтижелері алынды. Мақта тазалау процесінде қырқыштардың формасы мен өлшемінің өзгеруі жабдықтың тазалау тиімділігіне, дәндердің зақымдануына, сонымен қатар талшықтағы ақаулар мен қоспалардың санына әсері талданды. Алынған нәтижелер жабдықтың тазалау тиімділігін анықтау және талшық пен дәннің зақымдану деңгейінің мемлекеттік стандарттарға сәйкестігін бағалау үшін талданды..

Тірек сөздер: мақта, тазалау, талшық, торлы беттің құрылымы, қырқыш барабан, тиімділік, ұсақ қоспалар, ақау, дән, шөп қоспасы, сорт, пиллинг джин.

Kh.Yu. Ulugmuradov[1], E.T. Mukhametshina[1], R.M. Muradov[2]

[1]Jizzakh Polytechnic Institute, Jizzakh, Republic of Uzbekistan
[2]Namangan State Technical University, Namangan, Republic of Uzbekistan

INFLUENCE OF CHANGES IN SHAPE AND SIZE OF PINS OF COTTON CLEANING EQUIPMENT ON COTTON QUALITY INDICATORS

Abstract. The article examines and studies the device for cleaning cotton from small impurities and its main components. A laboratory version of the cleaning equipment was created, and its operating principle was described. The research objectives were defined, pins of various shapes were installed on the laboratory equipment, different experiments were conducted, and the experimental results were obtained. The influence of changing the shape and size of the pins during cotton cleaning on equipment cleaning efficiency, seed damage, and the number of defects and impurities in the fiber was analyzed. The obtained results were analyzed to determine the efficiency of the cleaning equipment and the compliance of fiber and seed damage levels with national standards.

Keywords: cotton, cleaning, fiber, mesh surface, pin drum, efficiency, small impurities, defect, seeds, weed impurities, grade, pilling gin.

ҒТАМР 64.33.14

К.Ж. Кучарбаева[1] – *негізгі автор*,
А.А. Мырзақұл[2], Л.Т. Сарттарова[3]

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

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0003-0030-4314 [2]https://orcid.org/0009-0000-8647-4458*
[3]https://orcid.org/0000-0001-7268-7620

[1,2,3]Алматы технологиялық университеті,
Алматы, Қазақстан

@ *[2]arailymmyrzakul52@gmail.com*

https://doi.org/10.55956/CTZZ4689

ӘЙЕЛ КИІМ ЖИЫНТЫҒЫН ДАЙЫНДАУДА ОЮ-ӨРНЕКПЕН ӘРЛЕП БЕЗЕНДІРУДІҢ САПАЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Әйел киім жиынтығын заманауи үлгіде дайындауда, этномәдени құндылықтарды сақтап жаңаша интерпретациялауда, заманауи сән талаптарына сай көркемдеп безендіруде, қазақтың ұлттық ою-өрнектердің түрлері зерттелді. Мақалада әйел киім жиынтығы дәстүрлі қазақ киімдерінің пішіндік құрылымын сақтай отырып, қазіргі заман үлгілеріне сай сублимациялық баспа әдісте ою-өрнектермен безендірілді. Зерттеу жұмысында ою-өрнекпен безендірілген сынақтық үлгілердің бояуының тұрақтылығы, шыдамдылығы мен беріктілік көрсеткіштері, әрленген бояуының сулануға төзімділігі мен гигроскопиялық қасиетінің тұрақтылығы стандарттық көрсеткішпен талданды. Нәтижесінде, шыдамдылығы мен беріктілік көрсеткіштері, бояуының тұрақтылығын және әрленген бояуының сулануға төзімділігін талдағанда, ең жоғары сапа көрсеткіштерін кашемир мен бархыт материалдары көрсетті. Милана мата үлгісі барлық сынақтарда стандарттық талаптағы көрсеткіштерге сәйкес келді, күнделікті тұтынатын киімдерге қолдануға ұсынылды. Шифон мен армани жібегінің сынақтық үлгілері төменгі көрсеткіштерді көрсетті, нәтижесінде оларды сәндік материалға қолдануға ұсынылды. Зерттеу нәтижесінде, сублимациялық баспа әдісінде ою-өрнектермен кашемир және милан материалдары безендірілді және заманауи әйел киім жиынтығы дайындалды.

Тірек сөздер: ұлттық киім, әйел киімі, ою-өрнек, көркемдеп безендіру, сублимациялық баспа, сәндік элемент.

Кучарбаева, К.Ж. Әйел киім жиынтығын дайындауда ою-өрнекпен әрлеп безендірудің сапалық көрсеткіштерін зерттеу [Мәтін] / К.Ж. Кучарбаева, А.А. Мырзақұл, Л.Т. Сарттарова //Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.185-194. https://doi.org/10.55956/CTZZ4689

Кіріспе. Қазіргі заманауи сән индустриясындағы жаңа технологиялардың пайда болуы, ұлттық киім үлгілерін жаңаша тұрғыда дамытуға мол мүмкіндік беруде [1]. Жаһандану жағдайында ұлттық нақышты сақтау, оны заман талабына сай бейімдеп қолдану – бүгінгі күннің өзекті мәселелерінің бірі [2]. Осы орайда дәстүр мен инновацияны үйлестіре отырып, заманауи әйел киім жиынтығы дизайнында қазақтың ұлттық ою-

өрнекпен безендіруді жаңғырту өзекті мәселе. Сублимация әдісі – түстердің айқын әрі ұзақ сақталуына, өнімнің эстетикалық тартымдылығы мен сапасының артуына ықпал етеді. Дайындалған әйел киім жиынтығы дәстүрлі қазақ киімдерінің пішіндік құрылымын сақтай отырып, қазіргі заман үлгілерге сай безендіріледі [3]. Киімдердің әрлеуінде ұлттық нақыштар мен заманауи сән элементтері үйлестіріліп, көркемдік және технологиялық талаптарға жауап беретін әйел киім жиынтығы дайындалады.

Зерттеу барысында сублимациялық баспа технологиясын қолдану негізінде, авторлық этно-дизайндағы ұлттық нақыштағы ою-өрнектерді жоғары температурада сынақтық үлгідегі материалдарды паттерн әдісінде безендірілді [4]. Бұл әдісті қолдану материалдардағы безендірілген ою-өрнектер берік, қанық түсті бейнелер енгізеді, киімнің сәндік-композициялық шешімдерінде киім жиынтығын жаңаша нұсқаларын дайындауға ұсынылады [5]. Заманауи ою-өрнекпен безендірілген киім жиынтығын дайындау, пішімнің композициялық шешімнің үйлестірілуі мен этномәдени құндылықтардың сақталуы және эстетикалық бейненің жаңартуға мүмкіндік берді [6].

Зерттеу шарттары мен әдістері. Киім үлгілеріне қолданылған ою-өрнектер Dye Sublimation Ink және Direct to Film бояуларының өңдеу технологиялары негізінде Grando GD-602 және Epson DX7, i3200 құрылғыларында ою-өрнектер сублимациялық баспа әдісімен безендірілді. Таңдалған сынақтық үлгілердегі материалдар тұтынушылар арасында жүргізілген сауалнама нәтижелеріне сүйене отырып таңдалды. Сынақтық үлгілерге келесі материалдар алынды: милана (ML-1456), кашемир (CS-9087), шифон (CH-1120), барқыт (VL-2209), Армани жібегі (SJ-7750), трикотаж (ST-6634). Сапалық бағалау сынақтық үлгілерге Алматы технологиялық университетінің зертханасында мемлекеттік стандарттар мен әдістемелік нұсқауларға сәйкес жүргізілді.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Зерттеу барысында ою-өрнектерді мата бетіне түсіру және кейінгі өңдеу кезеңдерінде өнеркәсіптік үтіктеу жабдығы Grando GD-602 пайдаланылды. Аталған құрылғы әртүрлі тоқыма материалдарының құрылымын бұзбай, оларды тегістеу, пішін беру және бояудың беріктігін арттыру мақсатында қолданылды. Жабдықтың тұрақты бу беру жүйесі және температураны реттеу мүмкіндігі нәзік маталардан бастап тығыз костюмдік маталарға дейін сапалы өңдеуді қамтамасыз етті.

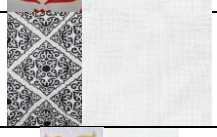
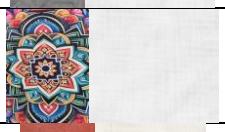
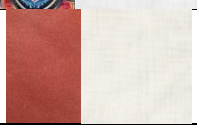
Сублимациялық баспа материалдардың өң бетіне этномотивтерді дәл әрі қанық түспен түсіруге мүмкіндік беретін заманауи әдіс [7]. Бұл технология экологиялық қауіпсіздігімен, ұзақ сақталатын түстік айқындылығымен ерекшеленеді [8]. Әйел киім жиынтығын заманауи үлгіде әзірлеу барысында сәндік-композициялық, технологиялық және беріктік сипаттамалары әртүрлі болатын алты түрлі мата сынақтық үлгілерге таңдап алынды [9]. Материалдар сауалнама нәтижелері негізінде тұтынушы сұранымына қарай, сублимациялық баспа технологиясы арқылы әрлеп безендірілді. Осы материалдардан дайындалған сынақтық үлгілердің физика-механикалық қасиеттері кешенді түрде зерттелді. Жүргізілген сауалнама нәтижесінде дайындалған сынақтық үлгілердің сапалық көрсеткіштері талданды [10].

Зерттеу барысында ою-өрнекпен безендірілген сынақтық үлгілердің бояуының тұрақтылығы МТ-197 аппаратында тексеріліп, сапалық

көрсеткіштерінің нәтижелері ГОСТ 9733.27-83 және ISO 105-X12 стандарттарына сәйкес (1-кесте) талданды [11].

Кесте 1

Маталардың бояуының тұрақтылығы қасиеті

№	Матаның атауы	Сурет	Артикул	Бояуының тұрақтылығы (%)
1	Милана (костюмдік мата)		ML-1456	94
2	Кашемир		CS-9087	96
3	Шифон		CH-1120	78
4	Бархат		VL-2209	94
5	Армани жібегі		SJ-7750	80
6	Спорттық трикотаж		ST-6634	86

Сынақтық үлгілердің безендірілген бояуының тұрақтылығы арнайы әдістеме бойынша пайыздық көрсеткішпен бағаланды [12]. Бұл сынақ мата талшықтарының үйкеліс әсеріне қарсы тұру қабілетін анықтауға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері бойынша, ең жоғары көрсеткіш кашемир матасында (96%) тіркелді. Милана костюмдік матасы мен бархат үлгілері де жоғары деңгейде тұрақтылық танытып, сәйкесінше (94%) жоғарғы нәтижені көрсетті. Орташа көрсеткіш спорттық трикотажда (86%) және Армани жібегінде (80%) байқалды. Ал шифон матасының безендірілген бояуының үйкеліс тұрақтылығы ең төмен болып, 78%-ды құрады. Сынақтың нәтижесіне сүйене отырып кашемир, милана және бархат маталары жоғары бояуының тұрақтылығымен ерекшеленеді және күнделікті әйел киім жиынтығына дайындауға қолданылады. Бояуының тұрақтылығы орташа және төмен көрсеткіштегі материалдар (шифон, армани жібегі) кешкі және мерекелік киім жиынтықтарына қолданылады.

Материалдардың шыдамдылығы мен беріктілік көрсеткіштері МТ-150 құрылғысында ГОСТ 3813-72 стандартына сәйкес талдау (2-кесте) жүргізілді. Әрлеп безендірілген маталардың шыдамдылығының беріктігі олардың талшықтық құрылымы мен тығыздығына тікелей тәуелді екені анықталды [13]. Ең жоғары шыдамдылығының беріктігі милана, трикотаж және бархат (түксіз покер) маталарында байқалды. Ал ең төмен көрсеткіштерге жеңіл әрі жұқа маталар – шифон мен Армани жібегі ие болды. Бұл мәліметтер материалдар түрлерінің киім дайындауда қолданылу салаларын нақтылауға

және олардың беріктік тұрғысындағы тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді [14].

Кесте 2

Шыдамдылығы мен беріктілік көрсеткіштері

№	Матаның атауы	Сурет	Шыдамдылығын ың беріктігі (бойлық), Н	Шыдамдылығын ың беріктігі (көлденең), Н	Орташа мәні (Н)	Пайыздық көрсеткіш (%)
1	Милана (костюмдік мата)		220	210	215	87
2	Кашемир		180	175	178	72
3	Шифон		120	115	118	48
4	Бархат (мат велюр)		250	245	248	100
5	Армани жібегі		130	125	128	52
6	Трикотаж		200	195	198	80

Салыстырмалы сынақтық үлгі материалдарын әрлеп безендіру сапасын зерттеуде, ең жоғары түстік дәлдік 193°C (380°F) температурада және 55 секунд өңдеу барысында қол жеткізілді (Potnis, 2024). Сублимациялық баспа әдісі қолданылғаннан кейін, кейбір материалдардың беріктік қасиетінің

шамалы төмендеуі байқалды. Бұл құбылыс баспа процесі кезінде қолданылатын өңдеу температурасының мата құрылымына әсер етуімен түсіндіріледі. Сонымен қатар, сублимациялық басып шығару киім дизайнында авторлық шығармашылық көркемдік жұмыспен безендірілді. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, сублимациялық баспа паттерн әдісінде безендірілген сынақтық үлгілердің ең жоғары шыдамдылығы мен беріктілік көрсеткіштері кашемир матасында (96%) байқалды. Милана костюмдік матасы мен бархат үлгілерінде жоғары көрсеткіші анықталды (94%). Орташа нәтижелер спорттық трикотаж (86%) пен Армани жібегінде (80%) тіркелді. Ең төменгі көрсеткіш шифонда анықталды, ол 78%-ды құрады.

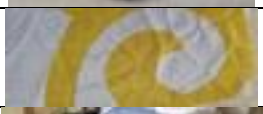
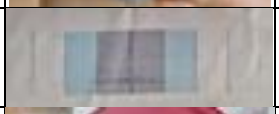
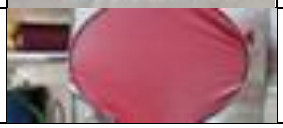
Маталардың сынақ барысында негізгі және арқау жібі бағыттындағы маталардың шыдамдылығы мен беріктілік көрсеткіштері талдап өлшеніп, орташа мәндері есептелді. Зерттеу нәтижесінде ең жоғары шыдамдылығы мен беріктілік көрсеткіштері бархат материалында тіркелді, оның орташа көрсеткіші 248 Н құрады (100%). Милана костюмдік матасы (215 Н, 87%) мен трикотаж (198 Н, 80%) жоғары беріктікке ие екендігі анықталды. Кашемир орташа деңгейде (178 Н, 72%) болса, армани жібегі (128 Н, 52%) мен шифон (118 Н, 48%) салыстырмалы түрде төмен көрсеткіш көрсетті. Бұл мәліметтерге сәйкес, бархат, милана және трикотаж маталары шыдамдылығы мен беріктілік көрсеткіштері механикалық жүктемеге төзімді болып, ұзақ мерзімді пайдалануға жарамды. Ал шифон мен армани жібегі нәзік құрылымды материалдар болғандықтан, кештік әрі мерекелік бағыттағы киім жиынтығына және сәндік бөлшектерге көбірек қолданылады.

Сынақтық үлгілердегі тоқыма материалдарының ою-өрнекпен әрленген бояуының сулануға төзімділігі (3-кесте) мен гигроскопиялық қасиетінің тұрақтылығы арнайы құрылғыда шашырату сынағы әдісі арқылы зерттелінді, алынған нәтижелер ГОСТ 30292-96 және ISO 4920-2012 стандарттарының талаптарына сай анықталды (3-кесте). Зерттеудегі сынақ әдіс матаның беткі қабатының су тамшыларына қарсы тұру қабілетін бағалауға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер бойынша ең жоғары сулануға төзімділік кашемирде (96%) анықталды. Жақсы көрсеткіштер бархатта (94%) және Милана костюмдік матасында (90%) тіркелді. Орташа деңгей спорттық трикотажда байқалып (88%), Армани жібегінің нәтижесі 80%-ды құрады. Ал ең төменгі бояуының сулануға төзімділігі шифонда (78%) анықталды. Нәтижеде, сублимациялық баспа паттерн әдісінде безендірілген суға төзімділігі жоғары материалдар (кашемир, бархат, милана) практикалық тұрғыдан кез келген киім жиынтығы дайындалады. Ал шифон мен армани жібегінің төменгі көрсеткіштері оларды сәндік бағыттағы жеңіл киімдерде және сәндік бөлшектерге қолданылады.

Нәтижесінде матаның гигроскопиялық қасиеті, яғни су тамшыларына қарсы тұру қабілеті бағаланып, безендірілген ою-өрнек бояуының сыртқы әсерлерге төзімділік деңгейі анықталды. Сонымен қатар, суға төзімділік тұрғысынан кашемир мен милана маталары жақсы нәтиже көрсетіп, бояуының беріктігі сақталды. Бұл көрсеткіш әйел киім жиынтығын дайындау сапасын жоғарылатады, ұзақ мерзімділігін және қолдану кезіндегі төзімділігін қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. Зерттеу нәтижелері сән индустриясында, қолданбалы өнер саласында, сондай-ақ кәсіби және техникалық білім беру мекемелерінде, кәсіпорындарда киім дайындауда кеңінен қолданылады.

Кесте 3

Сынақтық үлгілердің бояуының сулануға төзімділігі

№	Материал атауы	Сурет	Бояудың суға төзімділігі (%)
1	Милана (костюмдік мата)		90
2	Кашемир		96
3	Шифон		78
4	Бархат		94
5	Армани жібегі		80
6	Спорттық трикотаж		88

1-суретте тік силуэті, сублимациялық баспа паттерн әдісінде төрт құлақты ою-өрнегімен безендірілген кашемир матасынан дайындалған, әйелдерге арналған маусымдық пальто көрсетілген. Пальто бір өңірлі қайырмалы лацканды *1* және жасырын түймелік *2* төрт батырмаға түймеленеді. Алдыңғы бой бедерлі тігісті *3* және өңір қайырмасы жасанды былғары сәндік материалдан пішіліп әрлеп безендіріледі. Артқы бой орта тігісті *4* және етек қиығында жарма *5* өңделген. Реглан пішіндегі тұтас пішілген жеңнің *6* иық қиығы сырып тігіледі және жасанды былғары сәндік материалдан пішілген қаттама *7* жең аузына қосып тігіледі. Қондырмалы қайырма жаға *8* ұшы доғалдалған. Пальто қосып тігілген астарлы [15-18].

Сурет 1. Заманауи үлгідегі әйел киім жиынтығы

Тік силуэтті сублимация әдісінде анар гүлі ою-өрнегімен безендірілген милана матасынан дайындалған әйелдер жиынтығы, жакет пен шалбардан құралады. Жакет бір өңірлі қайырмалы лацканды *9* төрт батырмамен *10*

түймеленеді. Алдыңғы бойда *11* көкірек бүкпесімен және жапсырмалы жан қалтасымен *12* өңделеді. Артқы бой *13* орта тігісті. Қондырмалы бір тігісті ¾ ұзындықтағы жең аузы *14* кеңейтілген. Қондырмалы қайырмалы жаға *15* ұшы доғалдалған. Шалбарың *16* бел қиығына белдік қосып тігіледі және белдік эластикалық таспамен бүрмеленеді. Алдынғы бөлігінде тігіске түскен жан қалта өңделеді. Шалбар балағы кеңейтілген пішінді және ашық қиықты бүгіп тігіледі.

Қорытынды. Зерттеу нәтижесінде, сублимациялық паттерн әдісінде ою-өрнекпен безендірілген сынақтық үлгілердің бояуының тұрақтылығын және әрленген бояуының сулануға төзімділігін, шыдамдылығы мен беріктілік көрсеткіштерін талдағанда, ең жоғары сапа көрсеткіштерін кашемир мен бархыт материалдары көрсетті. Милана мата үлгісі барлық сынақтарда стандарттық талаптағы көрсеткіштерге сәйкес келді, күнделікті тұтынатын әйел киім жиынтығын дайындауға қолданылады. Шифон мен армани жібегінің сынақтық үлгілері бояуының тұрақтылығы және шыдамдылығы мен беріктілігі төменгі көрсеткіштерді көрсетті, нәтижесінде оларды сәндік материалдарға қолдануға ұсынылды. Нәтижесінде, сублимациялық паттерн әдісінде төрт құлақты ою-өрнегімен безендірілген кашемир матасынан әйелдерге арналған пальто және анар гүлі ою-өрнегімен безендірілген милана матасынан жакет пен шалбар киім жиынтығы дайындалды. Әйел киім жиынтығын дайындауда, заманауи талаптарға сай этномәдени құндылықтар жаңғыртылды және тұтынушы талаптарын қанағаттандырылды, бәсекеге қабілеттілігі нарықта жоғарылады.

Әдебиеттер тізімі

1. Абдыкадирова, А.Ш. Қазақ халқының дәстүрлі киімдері: зерттеу және талдау [Мәтін] / А.Ш. Абдыкадирова. – Алматы: Өнер, 2019.
2. Жүнісбекова, А.Р. Сәндік-қолданбалы өнердің композициялық негіздері [Мәтін] / А.Р. Жүнісбекова. – Алматы: Білім, 2020.
3. Бисенова, Г.Қ. Заманауи сәндегі этно-элементтердің интерпретациясы [Мәтін] / Г.Қ. Бисенова, А.Ә. Қайыпқалиева. – Семей: Шәкәрім университеті, 2022.
4. Құсайынова, Г.А. Сублимациялық баспа әдісі арқылы матаға сурет түсірудің технологиялық ерекшеліктері [Мәтін] / Г.А. Құсайынова // Қазақстан ғылымы мен өмірі. – 2021. – № 5(2). – Б. 112-117.
5. Ashdown S.P. Sizing in Clothing: Developing Effective Sizing Systems for Ready-to-Wear Clothing. – Cambridge: Woodhead Publishing, 2007.
6. Kadolph S.J. Textiles. – 11th ed. – Boston: Pearson, 2014.
7. Ujiie H., Cahill V. (Eds.). Digital Printing of Textiles. – Cambridge: Elsevier, 2006.
8. Tortora P., Merkel R. Fairchild's Dictionary of Textiles. – New York: Fairchild Books, 2019.
9. Mahapatra N.N. Textile Printing. – Boca Raton: CRC Press, 2024.
10. Kulmagambetova A. People in traditional costumes are another integral part of Nauryz celebration [Electronic resource]. – Access mode: https://el.kz/en/people_in_traditional_costumes_are_another_integral_part_of_nauryz_celebration_40493/.
11. Аксенова, А. Актуальные технологии в современной печати: сублимационная печать [Текст] / А. Аксенова // Innovations in Publishing, Printing and Multimedia Technologies. – 2016. – № 1(9).
12. Аубакирова Л. Ұлттық киімнің заманауи қазақы брендін дизайнерлер әлі қалыптастыра алмай отыр [Электронды ресурс]. – Қолжетімділік режимі: https://informburo.kz/kaz/ltty-kimn-zamanaui-azay-brendn-dizaynerler-l-alyptastyra-almay-otyr.html.

13. ГОСТ. Серия стандартов швейной промышленности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://standartgost.ru/0/129.
14. ГОСТ 8759-2017. Материалы швейные. Общие технические требования [Текст]. – [?].
15. ГОСТ 9733.27-83. Материалы текстильные. Методы определения устойчивости окраски к трению. – Введ. 01.01.86. – Москва: Стандартинформ, 1991. – 6 с.
16. Кутжанова, А.Ж. Материалтану: зертханалық практикум [Мәтін] / А.Ж. Кутжанова, А.С. Абишева. – Алматы, 2011. – 64 б.
17. Ким, Ф.И. Экспериментально-статистические методы построения математических моделей [Текст] / Ф.И. Ким. – Караганда: КГТУ, 2022.
18. ГОСТ 31399-2009. Классификация типовых фигур женщин для проектирования одежды [Текст]. – Введ. 2010.07.01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 18 с.

Материал редакцияға 06.01.26 түсті, 06.03.26 қабылданды.

К.Ж. Кучарбаева[1], А.А. Мырзақұл[1], Л.Т. Сарттарова[1]

[1]Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОТДЕЛКИ И ДЕКОРИРОВАНИЯ ОРНАМЕНТОМ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЖЕНСКИХ КОМПЛЕКТОВ ОДЕЖДЫ

Аннотация. Для разработки женских комплектов одежды в современном стиле, были изучены различные виды казахских национальных орнаментов, для декоративной отделки одежды в соответствии с современными требованиями моды, с сохранением этнокультурных ценностей при новой интерпретации. В статье рассмотрен женский комплект одежды, оформленный декоративной отделкой с использованием орнаментов методом сублимационной печати, в соответствии с современными тенденциями и с сохранением при этом конструктивных особенностей традиционной казахской одежды. При исследовательской работе с использованием стандартных показателей были проанализированы показатели стойкости, долговечности и прочности окраски образцов, декорированных орнаментами, а также устойчивость окрашивания к смачиванию и стабильность гигроскопических свойств. В результате, при анализе показателей стойкости, долговечности и прочности окраски и водостойкости окрашивания, самые высокие показатели качества продемонстрировали кашемир и бархат. Образец ткани «Милана» соответствовал стандартным требованиям к эксплуатационным характеристикам во всех тестах, что позволяет рекомендовать его для использования в одежде повседневного потребления. Образцы шифона и шелка «Армани» показали низкие эксплуатационные характеристики, в результате чего их рекомендовали использовать в качестве декоративных материалов. В результате исследований, ткань кашемир и «Милана» были декорированы орнаментами с использованием метода сублимационной печати, и был разработан современный женский комплект одежды.

Ключевые слова: национальная одежда, женская одежда, орнамент, декоративное оформление, сублимационная печать, декоративный элемент.

K.Zh. Kucharbayeva[1], A.A. Myrzakul[1], L.T. Sarttarova[1]

[1]*Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan*

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF WOMEN'S CLOTHING SETS WITH ORNAMENTAL DECORATION BASED ON QUALITY INDICATORS

Abstract. To develop women's clothing sets in a modern style, various types of Kazakh national ornaments were studied and adapted for decorative finishing in accordance with contemporary fashion requirements, while preserving ethnocultural values through reinterpretation. The article examines a women's clothing set designed with ornamental decoration using the sublimation printing method, in line with current trends and maintaining the structural features of traditional Kazakh clothing. During the research, standard evaluation methods were applied to analyze the color fastness, durability, and strength of dyeing in fabric samples decorated with ornaments, as well as the resistance of coloration to wetting and the stability of hygroscopic properties. The analysis demonstrated that cashmere and velvet exhibited the highest quality indicators in terms of color fastness, durability, and water resistance. The "Milana" fabric sample met standard requirements for all operational performance characteristics, which allows it to be recommended for everyday wear. Chiffon and Armani silk samples showed low operational characteristics and were therefore recommended for use exclusively as decorative materials. Based on the research findings, cashmere and "Milana" fabrics were decorated with ornaments using the sublimation printing method, and a contemporary women's clothing set was produced.

Keywords: national clothing, women's clothing, ornament, decorative design, sublimation print, decorative element.

References

1. Abdykadirova A.Sh. Qazaq khalqynyng dasturli kiimderi: zertteu zhane taldau [Traditional Clothing of the Kazakh People: Research and Analysis]. – Almaty: Oner, 2019. [in Khazakh].
2. Zhunisbekova A.R. Sandik-qoldanbaly onerding kompozitsiyalyq negizderi [Compositional Foundations of Decorative and Applied Arts]. – Almaty: Bilim, 2020. [in Kazakh].
3. Bisenova G.K., Kaiypkaliyeva A.A. Zamanaui sandegi etno-elementterding interpretatsiyasy [Interpretation of Ethnic Elements in Modern Fashion]. – Semey: Shakarim University, 2022. [in Kazakh].
4. Kussayinova G.A. Sublimatsiyalyq baspa adisi arqyly mataga suret tusiruding tekhnologiyalyq erekshelikteri [Technological Features of Applying Images on Fabric by Sublimation Printing Method] // Science and Life of Kazakhstan. – 2021. – No. 5(2). – P. 112-117. [in Kazakh].
5. Ashdown S.P. Sizing in Clothing: Developing Effective Sizing Systems for Ready-to-Wear Clothing. – Cambridge: Woodhead Publishing, 2007.
6. Kadolph S.J. Textiles. – 11th ed. – Boston: Pearson, 2014.
7. Ujiie H., Cahill V. (Eds.). Digital Printing of Textiles. – Cambridge: Elsevier, 2006.
8. Tortora P., Merkel R. Fairchild's Dictionary of Textiles. – New York: Fairchild Books, 2019.
9. Mahapatra N.N. Textile Printing. – Boca Raton: CRC Press, 2024.
10. Kulmagambetova A. People in traditional costumes are another integral part of Nauryz celebration [Electronic resource]. – Access mode: https://el.kz/en/people_in_traditional_costumes_are_another_integral_part_of_nauryz_celebration_40493/.

11. Aksenova A. Aktualnye tekhnologii v sovremennoi pechati: sublimatsionnaya pechat [Current Technologies in Modern Printing: Sublimation Printing] // Innovations in Publishing, Printing and Multimedia Technologies. – 2016. – No. 1(9). [in Russian].
12. Aubakirova L. Designers Still Cannot Form a Modern Kazakh National Clothing Brand [Electronic resource]. – Access mode: https://informburo.kz/kaz/ltty-kimn-zamanaui-azay-brendn-dizaynerler-l-alyptastyra-almay-otyr.html.
13. GOST. Seriya standartov shveinoi promyshlennosti [Series of Standards for the Garment Industry] [Electronic resource]. Access mode: https://standartgost.ru/0/129.
14. GOST 8759-2017. Materialy shveinye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya [Sewing Materials. General Technical Requirements]. – [?]. [in Russian].
15. GOST 9733.27-83. Materialy tekstilnye. Metody opredeleniya ustoichivosti okraski k treniyu [Textile Materials. Methods for Determining Color Fastness to Rubbing]. – Moscow: Standartinform, 1991. [in Russian].
16. Kutzhanova A.Zh., Abisheva A.S. Materialtanu: zerthanalyq praktikum [Materials Science: Laboratory Workshop]. – Almaty, 2011. – 64 p. [in Kazakh].
17. Kim F.I. Eksperimentalno-statisticheskie metody postroeniya matematicheskikh modelei [Experimental-Statistical Methods for Constructing Mathematical Models]. – Karaganda: KSTU, 2022. [in Russian].
18. GOST 31399-2009. Klassifikatsiya tipovykh figur zhenshchin dlya proektirovaniya odezhdy [Classification of Typical Female Figures for Clothing Design]. – Moscow: Standartinform, 2011. – 18 p. [in Russian].

МРНТИ 64.33.81

Ж.Б. Байжанова[1] – *основной автор*,
К.Д. Кожабергенова[2], С.М. Базарбаева[3],
Е.О. Омарова[4], Г.А. Касымова[5]

©

[1,2]Канд. техн. наук, ассоц. профессор, [3]Д-р техн. наук, профессор,
[4]Канд. техн. наук, ассистент профессор, [5]Ст. преподаватель

ORCID
[1]https://orcid.org/0000-0002-9160-9633 [2]https://orcid.org/0000-0003-2589-3119
[3]https://orcid.org/0000-0003-4634-7061 [4]https://orcid.org/0000-0002-8222-2189
[5]https://orcid.org/0000-0001-9165-9027

[1,2,4]Казахский Университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан
[3]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
[5]Таразский университет им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан

@ *[5]kasymova.galiya@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/QGDW9712

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ СПЕЦОДЕЖДЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ МНОГОФАКТОРНОГО РЕГРЕССИОННОГО ПОДХОДА

Аннотация. В исследовании проведена лабораторная оценка физико-механических характеристик тканей различного состава, предназначенных для спецодежды строителей, в условиях, приближенных к эксплуатации. Установлено влияние многократных стирок на прочностные показатели, износостойкость, воздухо- и пылепроницаемость материалов. Для описания выявленных зависимостей применена регрессионная многофакторная математическая модель, обеспечивающая прогнозирование эксплуатационной надежности спецодежды.

Ключевые слова: спецодежда, текстильные материалы, физико-механические свойства, износостойкость, многократные стирки, регрессионная модель.

Байжанова, Ж.Б. Анализ и прогнозирование физико-механических свойств материалов спецодежды для строителей на основе многофакторного регрессионного подхода [Текст] / Ж.Б. Байжанова, К.Д. Кожабергенова, С.М. Базарбаева, Е.О. Омарова, Г.А. Касымова // Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №1(91). – С.195-205. https://doi.org/10.55956/QGDW9712

Введение. Проектирование специальной одежды представляет собой комплексный процесс, включающий анализ физико-механических, защитных и эстетических характеристик материалов и изделий, определяющих их функциональное назначение и эксплуатационную надежность. Существенную роль в формировании качества спецодежды играют художественно-композиционные решения и конструктивные параметры, которые обеспечивают соответствие изделий условиям труда, эргономическим требованиям и современным критериям конкурентоспособности [1]. Научно обоснованный выбор материалов на этапах проектирования требует

применения достоверных методов исследования, позволяющих объективно оценить эксплуатационные свойства спецодежды. Проведение лабораторных испытаний физико-механических характеристик текстильных материалов является эффективным подходом, обеспечивающим сокращение временных и материальных затрат по сравнению с экспериментами в производственных условиях. Вместе с тем, воспроизведение реальных условий эксплуатации в лабораторной среде связано с определенными трудностями, что обусловливает необходимость использования математических методов обработки и интерпретации экспериментальных данных.

В этой связи применение регрессионных многофакторных математических моделей приобретает особую значимость, поскольку позволяет установить количественные зависимости между параметрами воздействия и свойствами материалов, а также повысить достоверность оценки результатов испытаний. Использование таких моделей создает предпосылки для прогнозирования эксплуатационной эффективности спецодежды и обоснования проектных решений на ранних этапах разработки изделия [2-5].

Актуальность темы исследования. В условиях интенсивной производственной эксплуатации специальная одежда подвергается воздействию совокупности механических и эксплуатационных факторов, приводящих к изменению геометрических параметров, ухудшению формы и снижению защитных свойств изделий. Возникающие в процессе носки нагрузки, как правило, имеют величину, существенно меньшую разрывных, однако их многократное и длительное действие обуславливает накопление деформаций и ускоренный износ текстильных материалов.

Особую значимость в обеспечении долговечности и функциональной надежности спецодежды приобретает способность материалов сохранять упругие свойства при растяжении, сжатии и изгибе. Недостаточная устойчивость тканей к таким видам деформаций приводит к потере формоустойчивости изделий и снижению их эксплуатационной эффективности. В связи с этим актуальным является проведение комплексных исследований физико-механических характеристик текстильных материалов, направленных на обоснование выбора сырьевого состава и структуры тканей, обеспечивающих повышенную износостойкость и стабильность формы спецодежды в реальных условиях эксплуатации [6,7].

Условия и методы исследований. Оценка износостойкости материалов, предназначенных для специальной одежды строителей, осуществлялась на основе комплекса физико-механических показателей, характеризующих эксплуатационную надежность текстильных изделий. В качестве основных критериев использованы показатели разрывной прочности и разрывного удлинения, сопротивления механическим воздействиям, жесткости, воздухопроницаемости, пылепроницаемости, а также устойчивости материалов к истиранию и многократным стиркам.

Исследования физико-механических свойств материалов спецодежды строителей были проведены в испытательной лаборатории ТОО «ТЕКС». При исследовании использованы материалы различного волокнистого состава и структур, такие как:

- арт. 369008 – 67% хлопка, 33% - лавсана;
- арт. 81408 – 33% хлопка, 67% - полиэстра;
- арт. 9022 – 51% хлопка, 49% - полиамид;

– арт. 10407 – 100% хлопка;
– арт. 9018– 54% вискоза, 46% хлопок.

В работе изучались ткани различного волокнистого состава и структурного исполнения, включающие хлопчатобумажные, смешанные и синтетические материалы. Анализируемые образцы отличались соотношением натуральных и химических волокон, что позволило оценить влияние сырьевого состава на формирование прочностных и эксплуатационных характеристик.

Износостойкость материалов спецодежды, предназначенной для защиты от механических воздействий, определялась по значениям разрывной нагрузки и относительного удлинения при разрыве. Установлено, что уровень прочности тканей обусловлен плотностью и структурой волокон, параметрами пряжи и особенностями отделочных процессов. При этом прочностные показатели по основе превышали аналогичные значения по утку, тогда как деформационные свойства характеризовались обратной зависимостью.

Испытания проводились с учетом воздействия многократных циклов стирки, сопровождающихся изменением прочностных характеристик и линейных размеров тканей. Дополнительно оценивалась усадка материалов, оказывающая влияние на стабильность формы и внешний вид спецодежды. Полученные результаты показали, что исследуемые ткани обладают незначительной усадкой, что связано с присутствием в их структуре синтетических волокон с пониженной усадочной способностью. Все рекомендуемые нами материалы характеризуются небольшой усадкой, что объясняется наличием в структуре материала синтетических малоусадочных волокон, особенно с наименьшим уровнем для ткани арт. 369008. Количественные зависимости исследуемых параметров от числа стирок представлены в таблицах 1-5.

Таблица 1

Матрица уровней и интервалов варьирования разрывной нагрузки по основе

Фактор	Нижний уровень фактора	Основной уровень фактора	Верхний уровень фактора	Интервал варьирования фактора
	-1	0	1	
X1-Количество стирок	4	10	16	6
X2-Разрывная нагрузка по основе, Н	809,25	898,375	987,5	89,125

Таблица 2

Матрица уровней и интервалов варьирования разрывной нагрузки по утку

Фактор	Нижний уро вень фактора	Основной уровень фактора	Верхний уровень фактора	Интервал варьирования фактора
	-1	0	1	
X1-Количество стирок	4	10	16	6
X2-Разрывная нагрузка по утку, Н	777,25	853,625	930	76,375

Таблица 3

Матрица уровней и интервалов варьирования истирания

Фактор	Нижний уровень фактора	Основной уровень фактора	Верхний уровень фактора	Интервал варьирования фактора
	-1	0	1	
X1-Количество стирок	4	10	16	6
X2-Истирание, циклы	1906	1958	2010	52

Таблица 4

Матрица уровней и интервалов варьирования воздухопроницаемости

Фактор	Нижний уровень фактора	Основной уровень фактора	Верхний уровень фактора	Интервал варьирования фактора
	-1	0	1	
X1-Количество стирок	4	10	16	6
X2-Воздухопроницаемость, $дм^3/м^2$ с	27,3	32,5375	37,775	5,2375

Таблица 5

Матрица уровней и интервалов варьирования пылепроницаемости

Фактор	Нижний уровень фактора	Основной уровень фактора	Верхний уровень фактора	Интервал варьирования фактора
	-1	0	1	
X1-Количество стирок	4	10	16	6
X2-Пылопроницаемость, $г/м^2$ с	505	569	633	64

Результаты исследований и их обсуждение. Построение регрессионной многофакторной математической модели, описывающей зависимость исследуемых показателей от числа циклов стирки, осуществлялось на основе предварительного планирования эксперимента. Определение регрессионной многофакторной математической модели исследуемых параметров от количества стирок основывается на построении плана проведения эксперимента, в случае когда на основе известной информации о процессе определяют значение основного уровня факторов X_{0i} интервалы варьирования факторов I_i, верхний и нижний уровни факторов $X_{вi}$ и $X_{нi}$.

В соответствии с матрицами полного факторного эксперимента, представленными в таблицах 1-5, был выполнен основной цикл испытаний, направленный на получение значений выходных параметров. Для повышения достоверности экспериментальных данных и оценки воспроизводимости результатов проведена статистическая обработка, включающая расчет средней дисперсии. Проверка гипотезы об однородности дисперсий в сериях опытов осуществлялась с применением соответствующего статистического критерия, выражаемого расчетной зависимостью.

Для определения средней дисперсии результатов эксперимента проверка гипотезы об однородности дисперсий в опытах матрицы применяется формула (1):

$$S^2_{(1)}\{Y\} = \frac{\sum_{u=1}^{N} S^2_u\{Y\}}{N}, \quad (1)$$

согласно которой число степеней свободы для средней дисперсии – $f\{S^2_{(1)}\} = N(m-1)$, при m возможном количестве опытов.

Результаты полного факторного эксперимента были определен по формулам (2-3):

$$b_i = \frac{1}{N}\sum_{u=1}^{N} x_{iu}\overline{Y}_u \qquad (i = 0,1,\ldots,M), \quad (2)$$

$$b_{ij} = \frac{1}{N}\sum_{u=1}^{N} x_{iu}x_{ju}\overline{Y}_u \qquad (i \neq j), \quad (3)$$

Некоторые из коэффициентов регрессии могут оказаться пренебрежимо малыми – незначимыми. Значение дисперсии выходного параметра определяется по формуле (4):

$$S^2\{Y\} = \frac{S^2_{(1)}\{Y\}}{m}, \quad (4)$$

Следующим этапом является определение дисперсии коэффициентов уравнения регрессии согласно формуле (5):

$$S^2\{b_i\} = \frac{S^2\{Y\}}{N}, \quad (5)$$

Определение доверительного интервала для коэффициентов уравнения вычисляется по формуле (6):

$$\Delta b_i = \pm t_T S\{b_i\}, \quad (6)$$

где: t_T – значение критерия Стьюдента, определяемое при числе степеней свободы $f\{S^2_{(1)}\} = N(m-1)$ и P_D=0.95.

Если коэффициент регрессии $|b_i|$ меньше по модулю величины доверительного интервала $\Delta|b_i|$, то коэффициент уравнения считается незначимым и исключается из уравнения регрессии.

Для оценки дисперсии адекватности применима формула (7):

$$S^2_{(2)} = \frac{m\sum_{u=1}^{N}(\overline{Y}_u - Y_{Ru})^2}{N - M - 1}, \quad (7)$$

где, M – количество факторов.

После этого необходимо определение расчетного значения критерия Фишера по формуле (8):

$$\begin{cases} F_R = \dfrac{S^2_{(2)}\{Y\}}{S^2_{(1)}}, \ если\ S^2_{(2)}\{Y\} > S^2_{(1)}\{Y\}, \\ F_R = \dfrac{S^2_{(1)}\{Y\}}{S^2_{(2)}\{Y\}}, \ если\ S^2_{(1)}\{Y\} > S^2_{(2)}\{Y\}, \end{cases} \quad (8)$$

где, $S^2_{(1)}\{Y\}$ – средняя дисперсия, или дисперсия воспроизводимости.

Уравнение регрессии считается адекватным, если выполняется условие $F_R < F_T$, которое определяет при доверительной вероятности P_D=0.95 и числе степеней свободы дисперсий $f\{S^2_{(2)}\}$ *и* $f\{S^2_{(1)}$.

Коэффициенты регрессии в натуральных значениях факторов определяют по формулам (9)-(12):

$$a_0 = b_0 - \left(\frac{b_1 X_{01}}{I_1} + \frac{b_2 X_{02}}{I_2}\right) + \left(\frac{b_{12} X_{01} X_{02}}{I_1 I_2}\right), \quad (9)$$

$$a_1 = \frac{b_1}{I_1} - \frac{b_{12} X_{02}}{I_1 I_2}, \quad (10)$$

$$a_2 = \frac{b_2}{I_2} - \frac{b_{12} X_{01}}{I_1 I_2}, \quad (11)$$

$$a_{12} = \frac{b_{12}}{I_1 I_2}, \quad (12)$$

где: $в_0$, $в_1$,$в_2$,$в_{12}$ – оценки коэффициентов уравнения регрессии; X_{01}, X_{02} – натуральные значения основного уровня факторов; I_1, I_2 – интервалы варьирования факторов.

На основании разработанного алгоритма методического подхода была создана программная реализация полного трёхфакторного эксперимента с использованием табличного процессора Excel. Применение данной программы обеспечивает сокращение временных затрат и упрощает процедуру статистической обработки экспериментальных данных. В автоматизированном режиме выполняется расчет коэффициентов регрессионных уравнений, а также формируется совокупность показателей, необходимых для оценки адекватности построенной математической модели.

В результате математической обработки экспериментальных данных получены регрессионные зависимости, описывающие изменение разрывной нагрузки исследуемых тканей. Анализ выполнен для материалов арт. 369008, 10407, 81408, 9022 и 9018 на основе результатов лабораторных испытаний их физико-механических свойств.

В таблицах 6, 7, 8, 9, 10 представлены результаты исследования и основные характеристики ткани арт. 369008: разрывная нагрузка по основе и утку; по истиранию; по воздухопроницаемости; по пылепроницаемости.

Проверка адекватности полученных регрессионных уравнений по исследуемым параметрам выполнена на основе результатов статистического анализа и подтверждает корректность построенных математических моделей.

Результаты измерений и представленные математические уравнения подтверждают взаимосвязь и наибольшее влияние количества стирок на

износостойкость материала. Исследование статистических характеристик ткани арт. 369008 основано на соотношении оценок коэффициента регрессии и определения доверительного интервала для коэффициентов выбранного критерия.

Математические модели определения физико-механических свойств материалов спецодежды обосновываются уравнениями регрессии в кодированных значениях на основе оценки значимости коэффициентов уравнения регрессии, а именно определения дисперсии и числа степеней свободы по каждой из выбранных характеристик.

Зависимость разрывной нагрузки по основе и по утку исследуемых материалов от количества стирок представлена на рисунке 1.

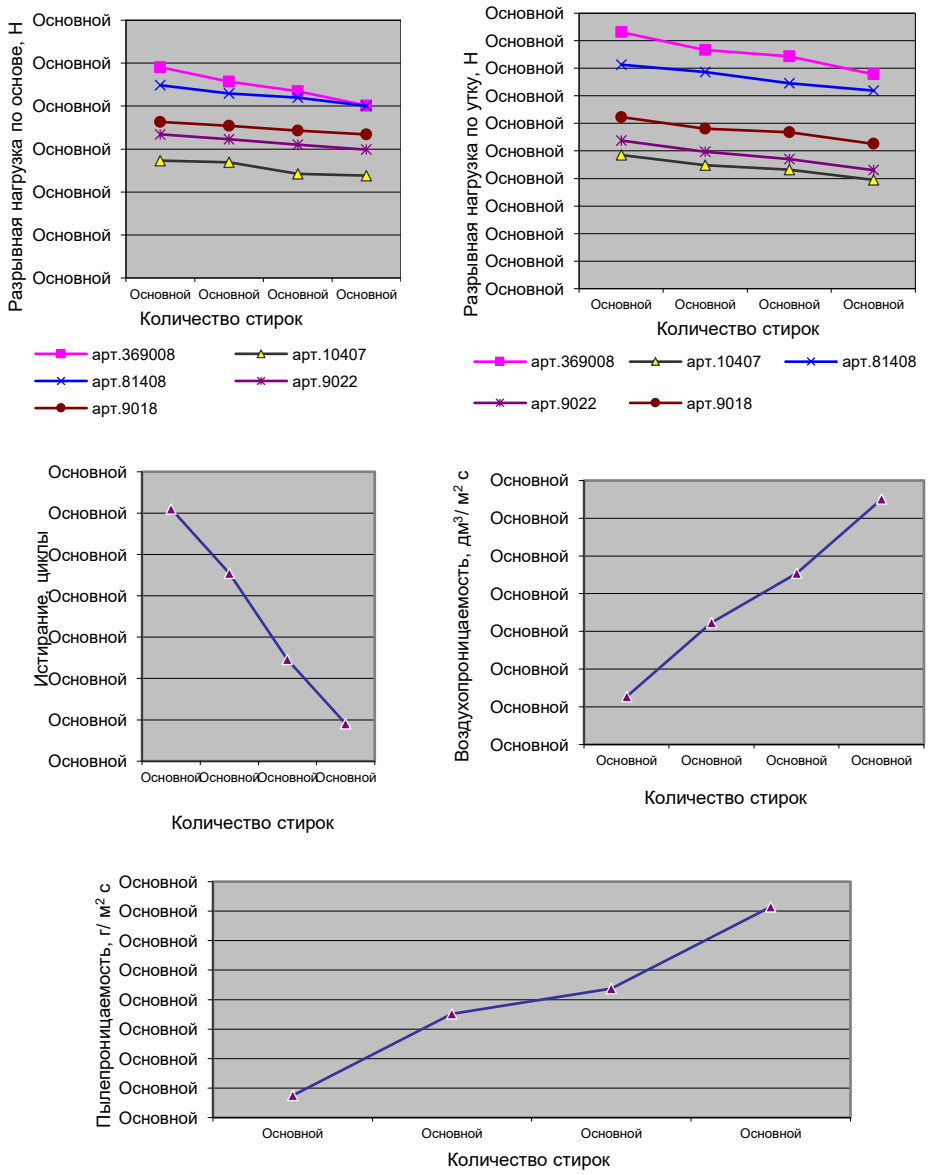


Рис. 1. Зависимость свойств исследуемых материалов от количества стирок лабораторных образцов тканей

Таблица 6

Результаты измерений и основные статистические характеристики ткани арт. 369008 – разрывная нагрузка по основе

Факторы			Разрывная нагрузка по основе (Н), Y_{uv}, %					$Y_{сред}$, %	Yсред, % - при кодированных знач.			$S^2_u\{Y\}$
x_0	x_1	x_2	Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}		x_1	x_2	x_{12}	
1	-1	-1	1080	1060	1010	950	930	987,5	-987,5	-987,5	987,5	4330
1	1	-1	920	910	907	905	910	908	908	-908	-908	33,3
1	-1	1	900	887	885	870	810	863	-863	863	-863	1253,3
1	1	1	837	820	810	805	802	809,25	809,25	809,25	809,25	200,7
СУММА								3567,75	-133,25	-223,25	25,75	5817,3

Определение средней дисперсии	Число степеней свободы для средней дисперсии	Определение оценок коэффициентов регрессии				Оценка значимости коэффициентов уравнения регрессии			Определение доверительного интервала для коэффициентов уравнения	В рассматриваемом случае 6,4375<17,78812 незначим, следовательно, уравнение регрессии в кодированных значениях имеет вид
						Определение дисперсии выходного параметра	Определение дисперсии коэффициентов уравнения регрессии		при (f $\{S^2_{(1)}\}$ и P_D=0,95), t=2,086	
$S^2_{(1)}\{Y\}$	F $\{S^2_{(1)}\}$	$в_0$	$в_1$	$в_2$	$в_{12}$	$S^2\{Y\}$	$S^2\{b_i\}$	$S\{b_i\}$	(+,-)trS$\{b_i\}$	Y_R=891,9375-33,3125X_1-55,8125X_2
1454,33	20	891,9375	-33,3125	-55,8125	6,4375	290,865	72,71625	8,527382365	17,7881196	

Таблица 7

Результаты измерений и основные статистические характеристики ткани арт. 369008 – разрывная нагрузка по утку

Факторы			Разрывная нагрузка по утку (Н), Y_{uv}, %					$Y_{сред}$, %	Yсред, % - при кодированных знач.			$S^2_u\{Y\}$
x_0	x_1	x_2	Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}		x_1	X_2	x_{12}	
1	-1	-1	1050	1010	990	900	820	930	-930	-930	930	8630
1	1	-1	880	875	870	865	860	867,5	867,5	-867,5	-867,5	62,5
1	-1	1	855	850	849	848	830	844,25	-844,25	844,25	-844,25	91,3
1	1	1	820	810	809	780	710	777,25	777,25	777,25	777,25	2018,2
СУММА								3419	-129,5	-176	-4,5	10802

Определение средней дисперсии	Число степеней свободы для средней дисперсии	Определение оценок коэффициентов регрессии				Оценка значимости коэффициентов уравнения регрессии			Определение доверительного интервала для коэффициентов уравнения	В рассматриваемом случае -1,125<24,2393739 незначим, следовательно, уравнение регрессии в кодированных значениях имеет вид
						Определение дисперсии выходного параметра	Определение дисперсии коэффициентов уравнения регрессии		при (f $\{S^2_{(1)}\}$ и P_D=0,95), t=2,086	
$S^2_{(1)}\{Y\}$	f $\{S^2_{(1)}\}$	$в_0$	$в_1$	$в_2$	$в_{12}$	$S^2\{Y\}$	$S^2\{b_i\}$	$S\{b_i\}$	(+, -) trS$\{b_i\}$	Y_R=854,75-32,375X_1-44X_2
2700,5	20	854,75	-32,375	-44	-1,125	540,1	135,025	11,62002582	24,2393739	

Таблица 8

Результаты измерений и основные статистические характеристики ткани арт. 369008 в лабораторных условиях по истиранию

Факторы			Истирание, циклы					$Y_{сред}$	Yсред - при кодированных знач.			$S^2_u\{Y\}$
x_0	X_1	x_2	Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}		x_1	x_2	x_{12}	
1	-1	-1	2030	2025	2010	2005	2000	2010	-2010	-2010	2010	167,5
1	1	-1	2000	1997	1983	1982	1970	1983	1983	-1983	-1983	149,3
1	-1	1	1960	1955	1950	1940	1920	1941,25	-1941,25	1941,25	-1941,25	250
1	1	1	1920	1910	1907	1905	1902	1906	1906	1906	1906	47,7
СУММА								7840,25	-62,25	-145,75	-8,25	614,5

Определение средней дисперсии	Число степеней свободы для средней дисперсии	Определение оценок коэффициентов регрессии				Оценка значимости коэффициентов уравнения регрессии			Определение доверительного интервала для коэффициентов уравнения	В рассматриваемом случае -2,0625<5,7813621 незначим, следовательно, уравнение регрессии в кодированных значениях имеет вид
						Определение дисперсии выходного параметра	Определение дисперсии коэффициентов уравнения регрессии		При (f $\{S^2_{(1)}\}$ и P_D=0,95), t=2,086	
$S^2_{(1)}\{Y\}$	f $\{S^2_{(1)}\}$	$в_0$	$в_1$	$в_2$	$в_{12}$	$S^2\{Y\}$	$S^2\{b_i\}$	$S\{b_i\}$	(+, -) trS$\{b_i\}$	Y_R=1960,063-15,5625X_1-36,4375X_2
153,625	20	1960,063	-15,5625	-36,4375	-2,0625	30,725	7,68125	2,77150681	5,781363206	

Таблица 9

Результаты измерений и основные статистические характеристики ткани арт. 369008 в лабораторных условиях по воздухопроницаемости

Факторы			Воздухопроницаемость, дм³/м² с					$Y_{сред}$, %	Yсред, % - при кодированных знач.			$S^2_u\{Y\}$
x_0	x_1	x_2	Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}		x_1	x_2	x_{12}	
1	-1	-1	25,1	25,2	27	28	29	27,3	-27,3	-27,3	27,3	2,938
1	1	-1	30,1	30,2	31,1	32	33,5	31,7	31,7	-31,7	-31,7	1,997
1	-1	1	33,1	34	34,1	34	35,1	34,3	-34,3	34,3	-34,3	0,503
1	1	1	36	37	37	38	39,1	37,775	37,775	37,775	37,775	1,382
СУММА								131,075	7,875	13,075	-0,925	6,82

Определение средней дисперсии	Число степеней свободы для средней дисперсии	Определение оценок коэффициентов регрессии				Оценка значимости коэффициентов уравнения регрессии			Определение доверительного интервала для коэффициентов уравнения	В рассматриваемом случае 0,23125<0,291976026 незначим, следовательно, уравнение регрессии в кодированных значениях имеет вид
						Определение дисперсии выходного параметра	Определение дисперсии коэффициентов уравнения регрессии		при (f $\{S^2_{(1)}\}$ и P_D=0,95), t=2,086	
$S^2_{(1)}\{Y\}$	f $\{S^2_{(1)}\}$	$в_0$	$в_1$	$в_2$	$в_{12}$	$S^2\{Y\}$	$S^2\{b_i\}$	$S\{b_i\}$	(+,-)trS $\{b_i\}$	Y_R=32,76875+1,96875X_1+3,26875X_2
1,705	20	32,76875	1,96875	3,26875	-0,23125	0,341	0,08525	0,291976026	0,609061991	

Таблица 10

Результаты измерений и основные статистические характеристики ткани арт. 369008 в лабораторных условиях по пылепроницаемости

Факторы			Пылепроницаемость, г/м² с					$Y_{сред}$, %	Yсред, % - при кодированных знач.			$S^2_u\{Y\}$
x_0	X_1	x_2	Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}		x_1	x_2	x_{12}	
1	-1	-1	450	460	490	510	560	505	-505	-505	505	1930
1	1	-1	580	585	580	586	570	580,25	580,25	-580,25	-580,25	40,2
1	-1	1	575	580	590	600	620	597,5	-597,5	597,5	-597,5	320
1	1	1	620	629	630	633	640	633	633	633	633	52,3
СУММА								2315,75	110,75	145,25	-39,75	2342,5

Определение средней дисперсии	Число степеней свободы для средней дисперсии	Определение оценок коэффициентов регрессии				Оценка значимости коэффициентов уравнения регрессии			Определение доверительного интервала для коэффициентов уравнения	В рассматриваемом случае -9,9375<11,2877949 незначим, следовательно, уравнение регрессии в кодированных значениях имеет вид
						Определение дисперсии выходного параметра	Определение дисперсии коэффициентов уравнения регрессии		при (f $\{S^2_{(1)}\}$ и P_D=0,95), t=2,086	
$S^2_{(1)}\{Y\}$	F $\{S^2_{(1)}\}$	$в_0$	$в_1$	$в_2$	$в_{12}$	$S^2\{Y\}$	$S^2\{b_i\}$	$S\{b_i\}$	(+, -) trS $\{b_i\}$	Y_R=578,9375+26,6875X_1+36,3125X_2
585,625	20	578,9375	27,6875	36,3125	-9,9375	117,125	29,28125	5,411215205	11,28779492	

Заключение. Как видно из рисунка 1, зависимость количества стирок от разрывной нагрузки по основе и утку рассмотрена для всех исследуемых артикулов ткани. Высокими значениями прочности принадлежит арт. 369008, что объясняется использованием в структуре ткани лавсановых волокон. Проведенное сравнение позволило выбрать ткань. арт.369008 для определения зависимостей по истиранию, воздухопроницаемости и пылепроницаемости. Направление кривых зависимости воздухопроницаемости и пылепроницаемости от количества стирок позволяют сделать вывод, что увеличение количества стирок ведет к интенсивному увеличению показателей воздухопроницаемости, постепенному росту пылепроницаемости. и поэтапному снижению показателей прочности материала. Результаты проведенных исследований определили выбор ткани для дальнейшего проведения экспериментального исследования арт. 369008.

В этой связи моделирование физико-механических свойств материалов спецодежды в лабораторных условиях позволило определить зависимость основных характеристик от уменьшения плотности материала и проведения

стирок, что обусловлено условиями труда строителей и необходимой защитой от порезов, проколов при работе с инструментами или загроможденных проходах, где пыль и температурные колебания внешней среды оказывает негативное влияние на состояние рабочих.

Список литературы

1. Ефремова, О.С. Охрана труда в строительстве [Текст] / О.С. Ефремова. – М.: Альфа-Пресс, 2006. – 466 с.
2. Романов, В.Е. Системный подход к проектированию специальной одежды [Текст] / В.Е. Романов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 58 с.
3. [?] Опыт проектирования специальной одежды [Текст]. – Л.: ЛДНТП, 1972. – 40 с.
4. Афанасьева, Р.Ф., Чубарова, З.С. Гигиена одежды [Текст] / Р.Ф. Афанасьева, З.С. Чубарова. – М., 1985. – 145 с.
5. Романов, В.Е. Теоретические и методологические основы системы оптимального проектирования специальной одежды [Текст]: дис. … д-ра техн. наук / В.Е. Романов. – Л.: ЛИТЛП, 1982. – 435 с.
6. Русинова, А.М. Производственная одежда [Текст] / А.М. Русинова. – М.: Легкая индустрия, 1974. – 160 с.
7. Рыскулова, Б.Р. Разработка методов проектирования специальной одежды для работающих фосфорного производства с учетом защитных свойств материалов: автореф. дис. … д-ра техн. наук [Текст] / Б.Р. Рыскулова. – М.: МГАЛП, 1996. – 45 с.

Материал поступил в редакцию 12.02.25, принят 12.03.26.

Ж.Б. Байжанова[1], К.Д. Кожабергенова[1], С.М. Базарбаева[2], Е.О. Омарова[1], Г.А. Касымова[3]

[1]Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Казақстан
[2]Л.Н Гумилев атындағы Еуразия ұлттык университеті, Астана, Казақстан
[3]М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Казақстан

ҚҰРЫЛЫСШЫЛАРҒА АРНАЛҒАН АРНАЙЫ КИІМ МАТЕРИАЛДАРЫНЫҢ ФИЗИКА-МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН КӨПФАКТОРЛЫ РЕГРЕССИЯЛЫҚ ӘДІСТЕМЕ НЕГІЗІНДЕ ТАЛДАУ ЖӘНЕ БОЛЖАУ

Аңдатпа. Зерттеу барысында құрылысшыларға арналған арнайы киімге қолданылатын әртүрлі талшықтық құрамдағы маталардың физика-механикалық қасиеттері пайдалану жағдайына жақын зертханалық ортада бағаланды. Материалдардың беріктік көрсеткіштеріне, тозуға төзімділігіне, ауа және шаң өткізгіштігіне көп мәрте жуу процесінің әсері анықталды. Анықталған тәуелділіктерді сипаттау үшін арнайы киімнің пайдалану сенімділігін болжауға мүмкіндік беретін регрессиялық көпфакторлы математикалық модель қолданылды.

Тірек сөздер: арнайы киім, тоқыма материалдар, физика-механикалық қасиеттер, тозуға төзімділік, көп мәрте жуу, регрессиялық модель.

Zh.B. Baizhanova[1], K.D. Kozhabergenova[1], S.M. Bazarbaeva[2], E.O. Omarova[1], G.A. Kassymova[3]

[1]K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan
[2]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
[3]M.H. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan

ANALYSIS AND PREDICTION OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MATERIALS FOR CONSTRUCTION WORKWEAR BASED ON A MULTIFACTOR REGRESSION APPROACH

Abstract. The study presents a laboratory assessment of the physical and mechanical characteristics of fabrics of various compositions intended for construction workwear under conditions close to actual use. The effect of repeated laundering on strength properties, wear resistance, air permeability, and dust permeability of the materials was established. To describe the identified relationships, a multifactor regression mathematical model was applied, enabling the prediction of the operational reliability of workwear.

Keywords: workwear, textile materials, physical and mechanical properties, wear resistance, repeated laundering, regression model.

References

1. Efremova O.S. Okhrana truda v stroitelstve [Occupational Safety in Construction]. – Moscow: Alfa-Press, 2006. – 466 p. [in Russian].
2. Rusinova A.M. Proizvodstvennaya odezhda [Industrial Clothing]. – Moscow: Legkaya industriya, 1974. – 160 p. [in Russian].
3. Ryskulova B.R. Razrabotka metodov proektirovaniya spetsialnoi odezhdy dlya rabotayushchikh fosfornogo proizvodstva s uchetom zashchitnykh svoistv materialov: avtoref. dis. … d-ra tekhn. nauk [Development of Methods for Designing Protective Clothing for Workers in Phosphorus Production Considering Protective Properties of Materials: Extended Abstract of Doctoral Dissertation]. – Moscow: MGALP, 1996. – 45 p. [in Russian].
4. Romanov V.E. Sistemnyi podkhod k proektirovaniyu spetsialnoi odezhdy [System Approach to the Design of Protective Clothing]. – Moscow: Legkaya i pishchevaya promyshlennost, 1981. – 58 p. [in Russian].
5. [?] Opyt proektirovaniya spetsialnoi odezhdy [Experience in Designing Protective Clothing]. – Leningrad: LDNTP, 1972. – 40 p. [in Russian].
6. Afanaseva R.F., Chubarova Z.S. Gigiena odezhdy [Clothing Hygiene]. – Moscow, 1985. – 145 p. [in Russian].
7. Romanov V.E. Teoreticheskie i metodologicheskie osnovy sistemy optimalnogo proektirovaniya spetsialnoi odezhdy: dis. … d-ra tekhn. nauk [Theoretical and Methodological Foundations of the System for Optimal Design of Protective Clothing: Doctoral Dissertation]. – Leningrad: LITLP, 1982. – 435 p. [in Russian].

ҒТАМР 64.35.23

Г.А. Наетова[1] – *негізгі автор*, ©
Б. Абзалбекұлы[2], К.Д. Кожабергенова[3], М.Д. Мәлс[4]

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

ORCID *[1]https://orcid.org/0009-0005-1100-6648 [2]https://orcid.org/0000-0002-9552-0388 [3]https://orcid.org/0000-0003-2589-3119 [4]https://orcid.org/0000-0002-5103-2155*

[1,2]М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан
[3]Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан
[4]Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан

@ *[1]gulnurnayetova@gmail.com*

https://doi.org/10.55956/SFNB1737

ӨСІМДІК ЭКСТРАКТІЛЕРІ СЫҒЫНДЫЛАРЫМЕН БОЯЛҒАН ҚОЙ ТЕРІСІНЕН АЛЫНҒАН БЫЛҒАРЫНЫҢ БЕРІКТІК ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Мақалада табиғи өсімдік бояуларын қолдана отырып, жеңіл өнеркәсіптің былғары материалдарын өңдеудің экологиялық аспектілері қаралды. Зерттеудің өзектілігі синтетикалық химиялық заттарды пайдалануға негізделген бояудың дәстүрлі процестерінің жоғары экологиялық жүктемесіне негізделген. Жұмыстың мақсаты аяқ киім және былғары өнімдері өндірісінде пайдаланылатын материалдарды экологиялық қауіпсіз бояу үшін жергілікті өсімдік шикізатының сығындыларын қолдану мүмкіндігін зерттеу болып табылады. Зерттеу объектілері ретінде марена, емен қабығы және жүзгін (Calligonum aphyllum) сығындыларымен боялған тоқыма маталар мен қой терісінің үлгілері пайдаланылды. Өсімдік сығындыларын алу технологиясы мен өңдеу операцияларының дәйектілігін сипаттау жүргізілді. Қолданыстағы стандарттардың талаптарына сәйкес, боялған үлгілердің беріктік қасиеттері, оның ішінде қалыңдығы, үзілу кезіндегі беріктік шегі және салыстырмалы ұзарту анықталған. Зерттеу нәтижелері табиғи өсімдік бояуларын қолдану материалдардың біркелкі боялуын, құрылымның біртектілігін және былғарының қанағаттанарлық төзімділік сипаттамаларын сақтауды қамтамасыз ететінін көрсетті. Өсімдік сығындыларын пайдалану қоршаған ортаға химиялық жүктемені азайтуға және жеңіл өнеркәсіптің тұрақты дамуының заманауи талаптарына сәйкес келетін экологиялық қауіпсіз материалдарын алуға мүмкіндік береді.

Тірек сөздер: табиғи бояғыштар, өсімдік сығындылары, былғары өнеркәсібі, экологиялық өңдеу, жүзгін, беріктік қасиеттері, экоматериалдар.

Наетова, Г.А. Өсімдік экстрактілері сығындыларымен боялған қой терісінен алынған былғарының беріктік қасиеттерін зерттеу [Мәтін] / Г.А. Наетова, Б. Абзалбекұлы, К.Д. Кожабергенова, М.Д. Мәлс //Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.206-215. https://doi.org/10.55956/SFNB1737

Кіріспе. Қазіргі таңда былғарыны өңдеу, бұл бірқатар операциялардан тұратын күрделі процесс. Былғарыны өңдеуде қолданылатын әрбір қосымша химиялық зат қоршаған ортаға және адам ағзасына зиянды әсер етеді, өндіріске қосымша шығындар әкеледі. Табиғатты қорғау, экология саласында

туындайтын проблемаларды шешу, былғары өндірісінде өсімдіктерді бояғыштар ретінде пайдалану жолдарын қарастыру және табиғи сығындыларды қолдана отырып, денсаулыққа аса қауіпті ауыр металдардың құрамын азайту – ол былғары өндірісіндегі басты алғышарттардың бірі. Табиғи өсімдіктерде флавоноидтар,флавонолдар, антиоксиданттар және фитохимиялық заттар көп [1-3,17].

Экологиялық проблема тері өндірісі үшін неғұрлым өзекті проблемалардың бірі болып табылады. Теріні илеудің және бояудың дәстүрлі процестері қоршаған ортаға және адам денсаулығына теріс әсер ететін синтетикалық химиялық реагенттер мен бояғыштарды пайдалануға негізделген. Құрамында улы заттар бар сарқынды сулардың едәуір көлемі күрделі және қымбат тазартуды талап етеді, бұл өндірістің экономикалық тиімділігін қосымша төмендетеді [4-10].

Осыған байланысты табиғи өсімдік сығындыларын пайдалана отырып, бояуды қоса алғанда, былғарыны әрлеудің экологиялық қауіпсіз технологияларын әзірлеу және енгізу ерекше өзекті болып отыр. Табиғи бояғыштарды қолдану қоршаған ортаға химиялық жүктемені төмендетуге, былғары өнімдерінің биосүйесімділігін арттыруға және орнықты дамудың қазіргі заманғы талаптарына жауап беретін материалдар жасауға мүмкіндік береді. Былғарыны бояу процесінде табиғи сығындыларды пайдалану Қазақстанның тері өнеркәсібінің экологиялылығы мен бәсекеге қабілеттілігін арттырудың перспективалы бағыты ретінде қарастырылады [8-10].

Қазіргі таңда жеңіл өнеркәсіп саласында экологиялық қауіпсіз технологияларды дамыту және синтетикалық бояғыштарды табиғи баламалармен алмастыру мәселесі ғылыми зерттеулердің маңызды бағыттарының біріне айналып отыр. Әсіресе өсімдік текті табиғи бояғыштарды тоқыма және былғары материалдарын өңдеуде қолдану олардың экологиялық және функционалдық артықшылықтарына байланысты кеңінен зерттелуде.

Осы бағыттағы зерттеулердің бірі Қ. Бектаевтың еңбектерінде қарастырылған. Автор жүзгін (*Calligonum aphyllum*) өсімдігінен алынған экстрактты тоқыма материалдарын бояуда пайдалану мүмкіндігін зерттеп, бояу процесінің технологиялық ерекшеліктерін және алынған маталардың физика-механикалық қасиеттерін бағалаған. Зерттеу нәтижелері табиғи экстракттарды қолдану арқылы боялған материалдардың түске төзімділігі мен пайдалану сипаттамаларының жақсарғанын көрсетті [14-17].

Мирзамуратова Р. зерттеулерінде емен ағашының қабығы мен пияз қабығынан алынған табиғи сығындыларды былғары материалдарын бояуда қолдану мүмкіндігі қарастырылған. Автор табиғи бояғыштардың былғарының физика-механикалық және гигроскопиялық қасиеттеріне әсерін зерттеп, олардың стандартты химиялық пигменттерге экологиялық тұрғыдан тиімді балама бола алатынын негіздеген [7-13].

Сонымен қатар Сабырханова С. еңбектерінде табиғи бояғыштармен өңделген тоқыма материалдарының функционалдық қасиеттері кешенді түрде зерттелген. Автор мақта мен полиэстер қоспасынан дайындалған маталарды ауылшаруашылық қалдықтарынан (жаңғақ қабығы, пияз қабығы) және дала өсімдіктерінен (пижма, шайқурай) алынған бояғыштармен, протрава қолдану арқылы және протравасыз бояп, олардың түстік сипаттамаларын спектрофотометриялық әдіспен бағалаған. Зерттеу нәтижесінде табиғи бояғыштар түрлі реңктер алуға мүмкіндік беріп қана қоймай, алюминий-калий және мыс сульфаты сияқты протраваларды қолдану

арқылы түстердің қанықтылығы мен өзгеру мүмкіндігі артатыны анықталған. Сонымен бірге боялған маталардың үйкеліске төзімділігі қанағаттанарлық деңгейде болған.

Аталған зерттеуде табиғи бояғыштармен және протравалармен өңделген тоқыма материалдарының *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* және *Candida albicans* микроағзаларына қарсы жоғары антибактериалдық және зеңге қарсы қасиеттері бар екені дәлелденген. Бұл табиғи бояғыштардың тек экологиялық тұрғыдан ғана емес, сонымен қатар функционалдық қасиеттері жоғары материалдар алуда перспективалы екенін көрсетеді [8,15-19].

Жалпы алғанда, қарастырылған ғылыми еңбектер табиғи өсімдік экстракттарын қолдану синтетикалық бояғыштарға балама бола алатынын, сондай-ақ қоршаған ортаға түсетін экологиялық жүктемені азайтуға және тоқыма мен былғары материалдарының сапалық көрсеткіштерін арттыруға мүмкіндік беретінін дәлелдейді.

Осылайша аталған жұмыста аяқ киімнің астар материалы ретінде қолданылатын былғарыны табиғи өсімдіктерден алынған бояғыш экстрактілермен, атап айтқанда жүзген (*Calligonum aphyllum*), марена, емен қабығы және олардың қоспасымен бояу арқылы алынған былғарының сапалық көрсеткіштерін анықтау мақсаты қойылды.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Механикалық көрсеткіштер былғарының сапасын сипаттайтын негізгі көрсеткіштер болып табылады. Аяқ киімнің үстіңгі былғарысы үшін стандарттар мен техникалық шарттардың талаптарына сәйкес: созылу кезіндегі беріктік шегі, бет қабатының жарығы пайда болған кездегі кернеу, ЮМПа кернеуі кезіндегі ұзарту, жабынның көп мәрте иілуге төзімділігі, жабын пленкасының адгезиясы анықталады. Астарлық былғары үшін бояудың құрғақ және ылғалды үйкеліске төзімділігін қосымша анықтайды.

Беріктік қасиеттерін зерттеу алдында қой былғарысы өсімдік сығындыларын пайдалана отырып әрлеуден және бояудан өтті. Ылғалдылығы 10% кем болмайынша өсімдік шикізаты – марена, емен қабығын және жүзгенді 1-3 мм фракцияға дейін ұсақталып кептірілді. Бояу сығыныларын алу үшін әр өсімдік шикізатын жеке-жеке 300 г 5 литр суға қосып 80-90°С екі сағат арасында ұсталды. Дайындалған үлгілер GIφ600-1600 GI сериялы Desh барабанында 50°С температурасымен 100 минут үздіксіз араластырылып бояу процессінен өтті. Қой терісі үлгілері боялғаннан кейін түстің тұрақтылығын сақтау үшін 5 пайыздық құмырсқа қышқылымен өңделді. Бұл өңдеу жұмысы «Тараз былғары зауыты» ЖШС зауытында жүргізілді.

Боялған тері үлгілерінің беріктік қасиеттері МЕМСТ Р ИСО 3376-2013 талаптарына сәйкес орындалып, аяқ киім терісінің физика-механикалық қасиеттері М.Х.Дулати атындағы Тараз университетінің «Өнімді сынау, бақылау және қауіпсіздік» мамандандырылған ғылыми зертханасында зерттелді.

Былғарының қалыңдығын ТР 25-60Б қалыңдық өлшеуішінің (1-сурет) көмегімен МЕМСТ 938.9-75 «Былғары. Қалыңдығын анықтау әдістеріне» сәкес орындалды.

Сурет-1. Тері қалыңдығын өлшеу процесі

ТР 25-60Б қалыңдық өлшеуішпен ақауы бар жерлерді ескермей отырып үлгінің бірнеше нүктелерінде (үш нүктеде) өлшеулер жүргізілді. Зерттелген былғары сынақтары бойлық және көлденен бағытымен МЕМСТ 938.11 сәйкес орындалды.

Былғарының қалыңдығын зерттегеннен кейін, Tinius Olsen сынақ машинасында үзілу және салыстырмалы ұзарту кезіндегі беріктіктің шегін анықтау бойынша зерттеу жүргізілді (2-сурет).

Сурет 2. Tinius Olsen үзу машинасы

Былғары үзілу беріктігін және салыстырмалы ұзартылуын сынау нәтижелері 3 және 4 суретте көрсетілген, сонымен қатар нәтижелері бойынша өсімдік сығындыларымен (бояу маренасы, жүзгін, емен қабығы және олардың комбинациялары) өңделген былғары үлгілерінің беріктік қасиеттеріне зерттеу жүргізілді. Сынақтар МЕМСТ 938.11 сәйкес орындалған және МЕМСТ 940-81 талаптарымен салыстырылған. Нормативтерге сәйкес, қой терісі үшін созылу кезіндегі беріктік 0,8 МПа-дан кем болмауы, ал 10 МПа және 5 МПа жүктеме кезіндегі ұзарту – 15-40% шегінде болуы тиіс.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Зерттеу барысында алынған тері қалындығы өлшемдердің орташа нәтижелері 1-кестеде көрсетілген.

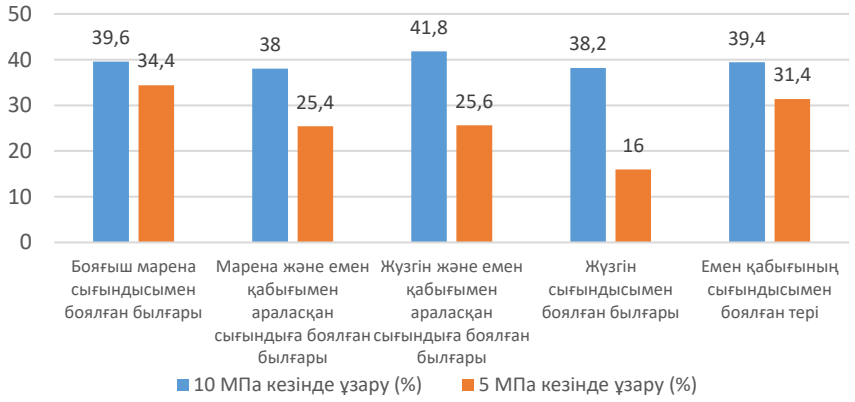
Кесте 1

Былғарының қалыңдығын анықтау

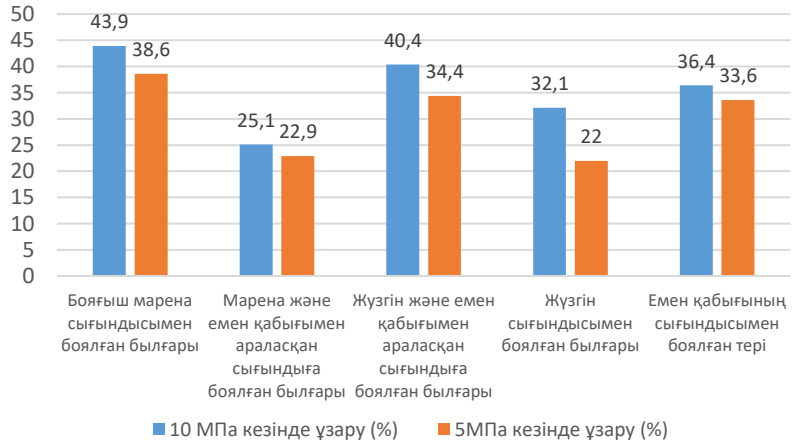
Үлгі №	Экстрактпен боялған былғары үлгілері	Бойлық (mm)	Көлденен (mm)
1	Емен қабығының сығындысымен боялған былғары	1,2	1,0
2	Жүзгін сығындысымен боялған былғары	1,0	1,1
3	Бояғыш марена сығындысымен боялған былғары	1,2	1,1
4	Марена және емен қабығымен араласқан сығындыға боялған былғары	1,1	1,2
5	Жузгін және емен қабығымен араласқан сығындыға боялған былғары	1,1	1,0

1-кестедегі былғары қалыңдығын талдау нәтижелері барысында әртүрлі табиғи боғыштармен боялған табиғи былғары үлгілерінің қалыңдығы 1,0-ден 1,2 мм-ге дейінгі шекте өзгеріп отыратыны анықталды. Тұтастай алғанда, барлық үлгілер бойлық және көлденең бағыттар бойынша қалыңдықтың біркелкілігін көрсетеді, бұл былғары құрылымының біртектілігін және жүргізілген өңдеудің сапасын растайды.

Былғары үзілу беріктігін және салыстырмалы ұзартылуын сынау нәтижелері 3 және 4 суретте көрсетілген.



Сурет 3. Бойлық бағыттағы былғарының беріктік қасиеттері



Сурет 4. Көлденең бағыттағы былғарының беріктік қасиеттері

Бояғыш марена сығындысымен боялған былғары бойынша бойлық бағытымен үзу жүктемесі – 1,2 Н, беріктігі – 16,5 МПа құрады. 10 МПа жүктеме кезінде ұзарту 39,6%, ал 5 МПа кезінде – 34,4% тең, бұл материалдың жоғары икемділігін көрсетеді. Үзілген кездегі ұзаруы 58,2% жетеді, бұл былғарының жақсы иілгіштігін көрсетеді.Ал көлденен бағытымен беріктігі 12,7 МПа дейін төмендейді, бұл ретте үзілу кезіндегі ұзарту 85,3% дейін артады. Бұл тері құрылымының айқын анизотропиясын және көлденең бағытта үлкен созылуын білдіреді.

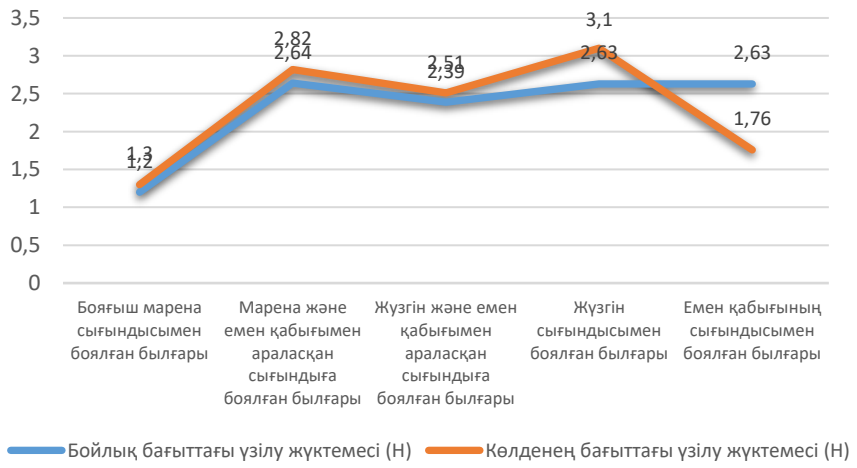
Марена және емен қабығымен араласқан сығындыға боялған былғарыда- бойлық бағытымен үзілу жүктемесі 2,64 Н кезінде беріктіктің ең жоғары көрсеткіштері 29,4 МПа тіркелді, Ұзарту 10 МПа кезінде 38%-ды, 5 МПа кезінде 25,4%-ды құрайды, бұл беріктік пен серпімділіктің жақсы теңгерімін көрсетеді. Сондай-ақ көлдене бағытымен беріктігі жоғары – 27,6 МПа, үзілу кезінде ұзарту 59,9% болып қалады. Деформациялық көрсеткіштер № 1 үлгіге қарағанда біршама төмен, бірақ материал құрылымы үзілуге мейлінше төзімді.

Жузгін және емен қабығымен араласқан сығындыға боялған былғары- бойлық бағытында беріктігі 14,9 МПа, ұзаруы 10 МПа кезінде – 41,8%, 5 МПа кезінде 25,6% құрайды. Былғары қалыпты беріктікте жақсы икемділікті көрсетеді. Көлденен бағытымен беріктігі 10,65 МПа дейін төмендейді, үзілу кезінде ұзарту – 55,6%. Сипаттамасы тұтастай үзілуге төзімді.

Жүзгін сығындысымен боялған былғары- бойлық бойымен беріктігі 12,7 МПа, үзілу кезінде ұзаруы – 48,7%, 5 МПа кезінде бар болғаны – 16%, бұл былғарының қатты құрылымын көрсетеді. Көлденен бойымен беріктік – 1,6 МПа және үзілу кезіндегі ұзартудың біркелкі көрсеткіштері белгіленеді.

Емен қабығының сығындысымен боялған былғары бойлық бойымен беріктігі – 15,7 МПа, ұзаруы 10 МПа кезінде – 39,4%, 5 МПа кезінде 31,4% құрайды. Былғары қалыпты беріктік пен жақсы икемділікті үйлестіреді. Көлдене бағытта беріктігі 16,7 МПа-ға дейін өседі, үзілу кезінде ұзарту – 71,1%, бұл жүктемелердің біркелкі таралуын куәландырады.

3 және 4-суреттер нәтижесі бойынша, материалдың бойлық және көлденең бағыттағы ұзару кезіндегі беріктік көрсеткіштері тиісінше 10 МПа және 5 МПа болып табылды. 5-суретте былғарының үзілу жүктемесі (Н) нәтижелері келтірілген.



Сурет 5. Үзілу жүктемесі (Н)

Берілген диаграмма әртүрлі табиғи бояғыштармен (марена, емен қабығы, жүзгін) боялған былғарының бойлық және көлденең бағыттағы үзілу жүктемесін (Н) салыстыруды көрсетеді. Диаграмма негізінде жасалған қорытынды:

1. Ең жоғары төзімділік көрсеткіштері

– Былғарының үзілуге ең жоғары төзімділігі жүзгін сығындысымен боялған үлгіде байқалады.

– Бұл үлгінің көлденең бағыттағы жүктемесі ең жоғары көрсеткішке – 3,1 Н жеткен.

– Сондай-ақ, марена мен емен қабығының қоспасы да жоғары беріктік көрсеткен (бойлық бағытта 2,64 Н, көлденең бағытта 2,82 Н).

2. Ең төменгі төзімділік көрсеткіштері

– Ең төменгі көрсеткіш тек марена сығындысымен боялған теріде тіркелген: бойлық бағытта 1,2 Н, көлденең бағытта 1,3 Н.

– Бұл маренаның жеке өзі терінің механикалық беріктігін арттыруда басқа компоненттерге қарағанда тиімділігі аз екенін көрсетеді.

3. Бағыттар бойынша айырмашылық

– Көптеген үлгілерде (марена, марена+емен, жүзгін) көлденең бағыттағы (қызғылт сары сызық) үзілу жүктемесі бойлық бағытқа қарағанда жоғары.

– Алайда, тек емен қабығымен боялған теріде керісінше нәтиже байқалады: оның бойлық төзімділігі (2,63 Н) көлденең төзімділігінен (1,76 Н) едәуір жоғары.

Қорытындылай келе марена сығындысымен боялған былғары жоғары икемділігімен және жақсы деформациялық қасиеттерімен ерекшеленеді, бірақ беріктігі жағынан құрама үлгілерден төмен. Марена сығындысына емен қабығын қосу терінің беріктік сипаттамасын едәуір арттырады, бұл үлгіні мейлінше берік және тұрақты етеді. Жүзгіннің еменнің қабығымен комбинациясы таза жүзгінмен салыстырғанда қасиеттері мейлінше жақсартады, бірақ беріктігі жағынан марена нұсқасынан сәл төмен. Жүзгин сығындысымен боялған былғары 5 және 10 МПа жұмыс жүктемелері кезінде ұзартудың тұрақты мәндерімен сипатталады, бұл былғары құрылымының біркелкі деформациясы мен жеткілікті иілгіштігін дәлелдейді. Емен қабығының сығындысы былғарының тұрақты және теңгерімді беріктік қасиеттерін қамтамасыз етеді.

Бұл көрсеткіштер өсімдік сығындылары тұтастай алғанда былғарының беріктік қасиеттерін нашарлатпайтынын, ал кейбір жағдайларда (мысалы, еменнің қабығын қоса отырып жүзгін) тіпті беріктік сипаттамаларын арттыратынын көрсетеді. Үлгілер жоғары икемділікті, созылуға төзімділікті сақтайды және бұйымдар өндірісінде пайдалану үшін нормативтік талаптарды қанағаттандыратыны анықталды.

Қорытынды. Өсімдік сығындыларымен боялған қой былғарысының беріктігі мен деформациялық сипаттамаларына жүргізілген талдау үлгілердің көпшілігі МЕМСТ 940-81 талаптарына толық сәйкес келетінін көрсетті. Салыстырмалы талдау көрсеткендей, өсімдік сығындыларын пайдалану былғарының беріктік қасиеттерін жақсартады. Беріктіктің ең жоғары көрсеткіштері марена мен емен қабығының қоспасымен өңделген үлгілерде байқалады, ал емен мен марена қабығы қосылған жүзгін сығындысымен боялған үлгілер неғұрлым икемділігін көрсетті.

Осылайша, өсімдік сығындылары материалдың жоғары пайдалану сипаттамаларын және нормативтік талаптарға сәйкестігін қамтамасыз ете отырып, қой былғарысын өңдеу және бояу процесінде тиімді қолданылуға болатыны байқалады.

Әдебиеттер тізімі

1. Types and Features of Lining Leather [Electronic resource]. – Access mode: https://kozhekspert.ru/kozhevennoe-delo/vidy-i-osobennosti-podkladochnoy-kozhi.
2. Physical and Mechanical Tests of Leather, Leather Fabric, Fur, and Hair Cover [Electronic resource]. – Access mode: https://studref.com/617415/tovarovedenie/fiziko_mehanicheskie_ispytaniya_kozhi_kozhevoy_tkani_meha_volosyanogo_pokrova.
3. leather technologies [Electronic resource]. – Access mode: https://www.xn----8sbempclcwd3bmt.xn--p1ai/article/15399
4. Teklemedhin, T.B. Dyeing of Wool Fabric Using Natural Dye and Natural Mordant Extracts // Trends in Textile Engineering & Fashion Technology. – 2018. – Vol. 4(4). – P. 538-542. https://doi.org/10.31031/TTEFT.2018.04.000593.
5. Fuck WF, Gutterres M, Marcilio NR, et al. The influence of chromium supplied by tanning and wet finishing processes on the formation of Cr (VI) in leather //Brazilian Journal of Chemical Engineering, 2011. – Vol. 28. – P. 221-228. https://doi.org/10.1590/S0104-66322011000200006.
6. Sabyrkhanova S.Sh., Yeldiyar G.K., Abzalbekuly B. Overview of plant extracts from the flora of the Kazakhstan for dyeing and printing textile materials // Mechanics and Technology / Scientific journal. – 2024. – No. 2(84). – P. 360-368. https://doi.org/10.55956/AITD1583.
7. Mirzamuratova R., Bayramoglu E., Abzalbekuly B., Kaldybayev R., Bektayev K. Investigation of the influence of walnut shell extract on chromium (VI) content in leather //Textile Research Journal, 2024. – P. 1-10. https://doi.org/10.1177/00405175241246736.
8. Sabyrkhanova S.S., Behzat O.B., Yeldiyar G.K. Investigation of dyeing, antibacterial and antifungal properties of blended fabrics treated with plant-based dyestuffs and mordants as shoe materials //Coloration Technology, 2024. – Vol. 140(4). – P. 598-611.
9. Tashmukhamedov F.R., Kutzhanova A.Z.H., Krichevskiy G.E. Sol-gel technology in cotton fabrics dyeing process by chlorophyll copper complex // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017. – Vol. 370(4). – P. 150-156.
10. Benli, H. Bio-mordants: a review //Environmental Science and Pollution Research International. – 2024. – Vol. 31. – P. 20714-20771. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11356-024-32174-8.
11. Berhanu T., Ratnapandian S. Extraction and optimization of natural dye from Hambo Hambo (Cassia singueana) plant used for coloration of tanned leather materials //Advances in Materials Science and Engineering. – 2017. – Vol. 2017. – Issue 1. https://doi.org/10.1155/2017/7516409.
12. Mirzamuratova R., Bayramoğlu E.E., Kaldybayev R. Application of Some Plant Extracts as Biocolorants for Leather During Finishing Process //Journal of the American Leather Chemists Association. – 2024. – No. 119(2). – P. 3-12. https://doi.org/10.34314/jalca.v119i1.8289.
13. Mirzamuratova E., Bayramoğlu E., Abzalbekuly B., Kaldybayev R. Investigation of the Effect of a Natural Extract from Oak Bark on the Properties of Leather //Fibres & Textiles in Eastern Europe. – 2024. – Vol. 32(1). – P. 83-89. https://doi.org/10.2478/ftee-2024-0010.
14. Bektayev K., Abzalbekuly B., Onem E., Mirzamuratova R., Orynbayev S., Tashmukhamedov F., Shardarbek M., Kauymbaev R., Sarybayeva E., Oraz G. Calligonum aphyllum Extract as Sustainable Colorant for Fabric Treatment //Journal

of Natural Fibers. – 2025. – Vol. 22. – Issue 1. – P. 1-11. https://doi.org/10.1080/15440478.2025.2568533.
15. Yusuf M., Mohammad F., Shabbir M., Khan M. Eco-Dyeing of Wool with Rubia cordifolia Root Extract: Assessment of the Effect of Acacia catechu as Biomordant on Color and Fastness Properties //Textiles and Clothing Sustainability. – 2016. – Vol. 2. – P. 1-9. https://doi.org/10.1186/s40689-016-0021-6.
16. Bektaev K., Abzalbekuly B., Oraz G.T. Primenenie v Otdelke Tekstilnykh Materialov Natural'nogo Krasitelya iz Rastenija Zhuzgin, Proizrastayushchego v Yuzhnykh Regionakh Kazakhstana [Application of Natural Dye from Juzgin Plant Growing in Southern Kazakhstan in Textile Finishing] //Bulletin of Almaty Technological University. – 2025. – Vol 149(3). – P. 223-230. https://doi.org/10.48184/2304-568X-2025-3-223-230.
17. Kudabayeva A., Abzalbekuly B. Assessment of the Influence of Glove and Haberdashery Skin Production Technology on the Environment //Leather and Footwear Journal. – 2021. – No. 1(21). – P. 27-34.
18. Kovtun L.G., et al. Vliyanie Protsessa Krasheniya Shersti Prirodnymi Krasitelyami na Rastvorimost' Sherstyanogo Volokna v Mochevino-Gidrosul'fitnom i Shchelchnom Rastvorakh [Influence of Wool Dyeing Process with Natural Dyes on Wool Fiber Solubility in Ureic-Hydrosulfite and Alkaline Solutions] //Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2007. – No. 3. – P. 298 [in Russian].
19. Le Coz C.J. Dyes. In: Encyclopedia of Toxicology, W. Editor-in-Chief: Philip, Editor. – Elsevier, New York, 2005. – P. 104-114.

Материал редакцияға 29.01.26 түсті, 16.03.26 қабылданды.

Г.А. Наетова[1], Б. Абзалбекұлы[1], К.Д. Кожабергенова[2], М.Д. Мэлс[3]

[1]Таразский университет им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан
[2]Казахский Университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан
[3]Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ КОЖИ ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ ОВЧИНЫ ОКРАШЕННОЙ ЭКСТРАКТАМИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Аннотация. В статье рассмотрены экологические аспекты отделки кожевенных материалов лёгкой промышленности с применением натуральных растительных красителей. Актуальность исследования обусловлена высокой экологической нагрузкой традиционных процессов крашения, основанных на использовании синтетических химических веществ. Целью работы является изучение возможности применения экстрактов местного растительного сырья для экологически безопасного крашения материалов, используемых в производстве обуви и кожевенной продукции. В качестве объектов исследования использовались образцы овчинной кожи, окрашенные экстрактами марены, дубовой коры и жузгина (*Calligonum aphyllum*). Проведено описание технологии получения растительных экстрактов и последовательности отделочных операций. Определены прочностные свойства окрашенных образцов, включая толщину, предел прочности при разрыве и относительное удлинение, в соответствии с требованиями действующих стандартов. Результаты исследований показали, что применение натуральных растительных красителей обеспечивает равномерное окрашивание материалов, сохранение однородности структуры и удовлетворительные прочностные характеристики кожи. Использование растительных экстрактов позволяет снизить химическую нагрузку на окружающую среду и получить экологически безопасные материалы,

соответствующие современным требованиям устойчивого развития лёгкой промышленности.

Ключевые слова: натуральные красители, растительные экстракты, кожевенная промышленность, экологическая отделка, жузгин, прочностные свойства, экоматериалы.

G.A. Nayetova[1], B. Abzalbekuly[1], K.D. Kozhabergenova[2], M.D.Mels[3]

[1]M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan
[2]K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan
[3]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

STUDY OF THE STRENGTH PROPERTIES OF LEATHER OBTAINED FROM SHEEPSKIN DYED WITH PLANT-BASED EXTRACTS

Abstract. The article examines the environmental aspects of finishing leather materials in the light industry using natural plant dyes. The relevance of the study is обусловлена высокой экологической нагрузкой традиционных процессов крашения, основанных на использовании синтетических химических веществ. The purpose of this work is to investigate the possibility of using extracts from local plant raw materials for environmentally safe dyeing of materials used in the production of footwear and leather goods. The objects of the study were sheepskin leather samples dyed with extracts of madder, oak bark, and *zhuzgun* (*Calligonum aphyllum*). The technology for obtaining plant extracts and the sequence of finishing operations are described. The strength properties of the dyed samples, including thickness, tensile strength, and elongation at break, were determined in accordance with the requirements of current standards. The research results showed that the use of natural plant dyes ensures uniform coloration of materials, preservation of structural homogeneity, and satisfactory strength characteristics of leather. The use of plant extracts makes it possible to reduce the chemical load on the environment and obtain environmentally safe materials that meet modern requirements for the sustainable development of the light industry.

Keywords: natural dyes, plant extracts, leather industry, eco-friendly finishing, zhuzgun, strength properties, eco-materials.

IRSTI 64.29.81

U.S. Smailova[1] – *main author*,
A.K. Abdikayeva[2], U.A. Vakhidova[3], A.B. Bekzat[4]

[1,3]PhD, [2]Candidate of Technical Sciences, [4]PhD student

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0002-0640-4378 [2]https://orcid.org/0000-0003-4385-7074*
[3]https://orcid.org/0009-0004-4563-1196 [4]https://orcid.org/0009-0006-7493-6727

[1,2]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan
[3]Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Tashkent, Uzbekistan
[4]O. Zhanibekov South Kazakhstan Pedagogical University, Shymkent, Kazakhstan

@ *[2]aigulabdi9@gmail.com*

https://doi.org/10.55956/REKD5168

EXPERIMENTAL STUDY OF THE PROPERTIES OF MATERIALS USED IN WOMEN'S CLOTHING

Abstract. The article presents the results of a study on the application of elastic polyurethane yarns in textile materials used for manufacturing garments for various purposes. The study examines the combination of polyurethane yarns with natural and synthetic fibers, as well as their role as functional components of the yarn. The methodology includes an analysis of scientific and technical literature, systematic and comparative analysis, and synthesis of experimental data. During the study, the structural characteristics of fabrics containing small amounts of polyurethane yarns embedded within the weave structure were investigated. It was established that incorporating polyurethane yarns increases fabric elasticity, improves garment shape retention, reduces wrinkling, and enhances wearing comfort. Garments made from such fabrics exhibit good body fit, resistance to deformation, and maintain their original shape during wear. The results have practical significance and can inform the design and production of modern garments with improved performance and consumer properties. Using polyurethane yarns in textiles allows for the development of garments that meet functional, comfort, and aesthetic requirements.

Keywords: textiles, fibers, physical and mechanical properties, polyurethane, performance properties.

Smailova U.S., Abdikayeva A.K., Vakhidova U.A., Bekzat A.B. Experimental study of the properties of materials used in women's clothing //Mechanics and Technology / Scientific journal. – 2026. – No.1(91). – P.216-223. https://doi.org/10.55956/REKD5168

Introduction. Women's shoulder products have a multi-layered structure, consisting of main upper materials and lining. The composition of raw materials and the types of textile fibers are among the main factors determining the physical, mechanical, and hygienic properties of the materials, including strength, wear resistance, electrostatic behavior, color fastness to physical and mechanical impacts, and other technological properties of textile materials [1-3]. In the production of textiles for clothing, chemical fibers and yarns such as polyester, polyamide, cellulose, polyurethane, and polyacrylonitrile are widely used [1,2].

Polyester fabrics are used in all types of clothing. To create multiple textures:

– textured (volumetric) threads;

– shaped yarn (made of knots and loops), gives a voluminous and spectacular appearance;

– monothreads;

– yarn, crepe texture.

Currently, polyurethane yarns are used in combination with natural and synthetic fibers. Polyurethane (elastic) threads act as functional components of yarns. They are incorporated in small quantities and are typically concealed within the fabric structure. Garments made from fabrics containing polyurethane threads exhibit good fit, high wearing comfort, low crease formation, resistance to deformation, and shape retention [2]. To impart elasticity to the fabric and allow it to stretch and return to its original shape, it is sufficient to include 2-5% polyurethane threads in the composition.

Polyacrylonitrile fibers, due to their warming properties, are similar to wool fibers and are widely used in costume and coat fabrics. Interest in natural fibers, such as wool, cotton, and linen, has resurged because of their hygienic and aesthetic qualities. At the same time, blends of wool with Lycra or linen are recommended to improve elasticity and wear resistance [4].

Fabrics combining original yarn structures and shiny threads of various shapes are particularly suitable for elegant clothing. While functionality remains a primary requirement, a balance of harmony and elegance is essential, especially in women's classic garments. Contemporary fabrics include dense yet lightweight and voluminous materials, soft tweeds, bouclé, and other textured fabrics. Velvet jackets with varied effects, wool blends, knitted fabrics, and finished wool fabrics are increasingly popular.

High-tech fabrics and materials with elastic coatings, Teflon treatment, or membrane properties are increasingly applied in garment production [5]. New fibers and blends, such as Meryl/Lycra, allow a significant reduction in fabric thickness, making lightness and semi-transparency fashionable again [5].

For lining fabrics, viscose, cotton, and polyester fibers and their blends are commonly used. Typical weaves include simple, wedge ("Christmas tree"), jacquard, satin, or velvet, with the fabric often being soft, plush, or silky. In garment production, woven linings as well as adhesive and non-adhesive nonwoven interlinings are widely applied [6].

Leading foreign companies from Western Europe, the USA, and Japan continue to develop combined thermoregulating cushioning materials, designed to interface with polyester fiber fabrics at temperatures not exceeding 100°C and compatible with lightweight base materials [7]. These materials are intended to bond with fabrics having various coatings, such as silicone [8].

Leaky linings (durable press) are produced for garments that are dyed in their finished form, as well as for products made from fur, leather, or other materials that cannot withstand conventional processing conditions. During the development of primer materials, particular attention is paid to joint connections, layer adhesion, and the selection of appropriate adhesives [9].

Materials and methods. The aim of the study was to investigate the physical and mechanical properties of modern fabrics used in the production of women's clothing, as well as to assess their resistance to operational influences, particularly abrasion.

The objects of the study were six samples of cotton and blended fabrics (A1-A6) differing in raw material composition, surface density, weave structure, and dyeing method. The main characteristics of the investigated fabrics are presented in

Table 1. To evaluate the performance properties of the materials, standard methods were applied to determine fabric density, mass per unit area, and abrasion resistance. Abrasion tests were performed using Martindale and UTN-1 devices with 10,000 friction cycles, which simulate real wearing conditions of garments in accordance with international and national standards [10,11].

Research results and discussion. Research is being conducted in the direction of developing new types of the base of the lining material, creating new form-resistant, resistant to gluing. The use of various non-woven materials is increasing. In addition to a small mass lining and a thin thermo network, types of volumetric lining fabric with a proportion of thermoplastic fibers are offered, which makes it possible to obtain voluminous, well-packed, soft parts. The production of knitted lining materials is also expanding.

Heat-adhesive lightweight non-woven linings made from polyester melt are widely used. These linings are designed to ensure compatibility with polyester-based outer fabrics and enhance shape stability [12]. The final finishing of non-woven materials from polymer melts is carried out using a heated roller, on which a pattern in the form of a “cat’s foot” is applied using blunt rods. High-quality garments are achieved through multi-zone lining materials, where single-layer linings create zones of varying rigidity, altering the stiffness of the lining base [12].

In addition to glued single-layer materials, various composite linings have recently been developed, which, when added to a package, provide the required physical and mechanical properties. For example, Dhj (UK) developed a composite lining material that ensures shape stability for small garment details such as collars and darts. This composite material consists of two layers of thin-film material with an elastic filler in between [6]. Similarly, Grown Textile (USA) developed the Grown Slev material, consisting of two fabric layers with multiple rubber layers in between, primarily used for shoulder pads [13].

Analysis of new types of sewing materials shows that they are made from different fibers and possess diverse physical, mechanical, and aesthetic properties, significantly expanding the range of garments that meet the requirements of modern consumers [13]. Modern fabrics differ from classical fabrics in their properties; therefore, traditional design approaches and technologies are not always suitable for ensuring flexibility and maintaining structural stability in composite garments. It is thus crucial to develop design methods that preserve the utility of materials for the consumer while ensuring that garment elements retain the desired shape during use.

In this study, six cotton fabrics with wear effects and blended fabrics used in garment production were examined. Their main characteristics are presented in Table 1. According to the fabric designations, the primary threads are of colors A2 and A3, while fabric A4 is dyed only on the front side. The remaining fabrics were dyed after knitting [8].

Table 1

Physical and mechanical characteristics of the fabric

№	Fabric designation	Color	Composition	Density, thread/CM		Textile braids	Weight, g/m^2
				base	weft		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	A1	Dark Brown	100% cotton	28	14	fleecy	339
2	A2	Dark Blue	65% cotton, 35% polyethersulfone	26	19	sheet fabric	227

Table 1 (continued)

1	2	3	4	5	6	7	8
3	A3	Dark blue	100% cotton	32	21	½ Sargia	298
4	A4	Grey	98% cotton, 2% elastin (weft)	56	24	½ Sargia	292
5	A5	Camel	43% cotton, 57%linen	20	13	sheet fabric	228
6	A6	Black gold	100% cotton	44	14	sheet fabric	293

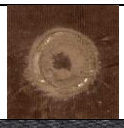
Results of experimental testing of fabric samples according to the above methods. Table 1 shows the appearance of fabric samples tested during grinding on Martindale and UTN-1 instrument.

Analysis of the data presented in Table 1 showed that fabric A1, made of 100% cotton with a pile structure, has the highest surface density (339 g/m^2). This sample demonstrated the highest abrasion resistance in Martindale testing, as evidenced by the reservation of structural integrity after 10,000 friction cycles. This indicates high wear resistance and the suitability of the fabric for garments subjected to significant operational loads.

As a result of the experimental studies, it was e stablished that the physical, mechanical, and performance properties of fabrics are largely determined by their raw material composition, weave structure, surface density, and the presence of elastic components.

Table 2

Type of material samples after grinding with Martindale instrument and UTN-1 instrument (10.000 cycles)

Fabric designation	Samples of grinding materials with Martindale(10000 cycles)	Samples of materials after friction with the Dit-2M
A1		
A2		
A3		
A4		

Fabrics A2 and A3, based on cotton and its blends with polyester fibers, showed average abrasion resistance values. At the same time, sample A2, despite having a lower surface density, demonstrated better performance compared to A3, which can be explained by the presence of chemical fibers in the composition, enhancing the strength and structural stability of the material.

Of particular interest are the results for fabric A4 containing 2% elastane. This sample is characterized by increased weft density and a twill weave, which, in

combination with the elastic component, ensures good shape retention, resistance to deformation, and satisfactory abrasion resistance. This confirms the expediency of using polyurethane yarns in fabrics for women's clothing, where comfort and shape preservation are of particular importance.

The lowest abrasion resistance indicators were recorded for fabric A5 (a cotton-linen blend). Despite its natural composition and satisfactory hygienic properties, this sample showed low resistance to abrasion due to its lower surface density and the structural characteristics of linen fibers. This limits its use in garments subjected to intensive wear.

Thus, the experimental results confirm that fabric abrasion resistance is formed under the influence of a complex set of factors and is not determined solely by increased fabric density, an optimal combination of raw material composition, weave structure, and the introduction of elastic fibers makes it possible to obtain fabrics with improved performance characteristics that meet the requirements of modern women's clothing [14].

The conducted studies demonstrated that the performance properties of fabrics for women's outer garments are formed under the influence of a combination of factors, among which raw material composition, weave structure, surface density, and the presence of elastic fibers are key. The obtained experimental data confirm the absence of a direct linear relationship between fabric surface density and abrasion resistance, which is consistent with contemporary concepts of textile material behavior during use.

Fabric A1, possessing the highest surface density, indeed demonstrated maximum wear resistance; however, samples with lower density but optimized composition and structure (A2, A4) showed comparable or more stable results. This indicates that the introduction of chemical and elastic fibers contributes to load redistribution within the fabric structure and reduces localized deformations under friction.

The results obtained for fabric A4 containing 2% elastane are of particular significance. Despite the relatively small proportion of polyurethane yarns, this sample is characterized by enhanced shape stability and the ability to maintain geometric parameters after mechanical stresses. This confirms the effectiveness of using polyurethane yarns in the amount of 2-5% to improve fabric performance properties without compromising their appearance and tactile characteristics.

The low abrasion resistance of fabric A5 (cotton-linen blend) indicates the need for cautious use of materials dominated by natural fibers in garments intended for intensive wear. Despite their high hygienic and aesthetic qualities, such fabrics require additional structural reinforcement, the use of interlining materials, or combination with more durable fibers.

The obtained results confirm the relevance of using modern high-tech materials, including composite interlinings and multi-zone lining materials, which allow targeted regulation of stiffness and stability in specific garment areas. The use of such materials ensures shape retention of women's clothing during wear and expands the possibilities of design and structural engineering.

Thus, the discussion of the results leads to the conclusion that a comprehensive approach to material selection for women's outer garments is required, based not only on fashion trends but also on an in-depth analysis of the physical, mechanical, and performance characteristics of fabrics.

Conclusion. In an experimental study, the friction resistance was evaluated for several fabrics, with the highest value observed in the thickest A1 fabric. Naturally, thicker fabrics tend to exhibit greater friction resistance; however, there

is no strict linear relationship between thickness and friction resistance. The lowest resistance was observed in the blended cotton/linen A5 fabric, despite A2 being the thinnest sample. The lower friction resistance of A5 may be attributed to its relatively low density.

The study established that the physical, mechanical, and performance properties of fabrics for women's outerwear are influenced by a combination of factors, including raw material composition, weave structure, surface density, and the presence of elastic components [14,15]. Experimental results confirm that abrasion resistance is not solely determined by fabric density but depends on the complex interaction of structural and compositional characteristics.

It was demonstrated that the inclusion of polyurethane (elastic) yarns at 2–5% of the fabric composition effectively enhances shape retention, elasticity, and wearing comfort, while maintaining satisfactory wear resistance. Even a small proportion of elastic yarn reduces residual deformations and helps preserve the geometric dimensions of garments during use.

The study also found that fabrics made from natural fibers, despite their excellent hygienic and aesthetic properties, may exhibit lower resistance to mechanical stress. This necessitates the use of additional structural and technological solutions, such as interlinings, composite materials, and the blending of natural fibers with chemical or elastic yarns.

The practical significance of this research lies in its application to the selection of textile materials and the development of structural and technological solutions for women's clothing design. A comprehensive approach to fabric analysis allows for improved garment quality and the expansion of competitive product ranges in the modern apparel industry [15,16].

In conclusion, an integrated approach to material selection and property evaluation enables the enhancement of quality in women's outer garments and broadens the range of competitive products. The findings of this study can be applied in material selection and in designing structural and technological solutions aimed at achieving a balance of functionality, comfort, and aesthetic appeal in women's clothing.

References

1. Zhikharev A.P., Petropavlovskij D.G., Kuzin S.K., Mishakov V.Yu. Materialovedenie v proizvodstve izdelij legkoj promyshlennosti [Materials Science in Light Industry Products Manufacturing]: Textbook for Higher Education Students. – M.: Izdatelskij centr «Akademiya», 2004. – 448 p. [in Russian].
2. Kukin G.N., Solovev A.N. Tekstilnoe materialovedenie [Textile Materials Science]. – M.: Legkaya industriya, 2010. – 384 p. [in Russian].
3. Buzov B.A., Modestova T.A., Alymenko N.D. Materialovedenie shvejnogo proizvodstva [Materials Science of Garment Production]. – M.: Akademiya, 2013. – 336 p. [in Russian].
4. Krucheneckij V.Z., Zhilisbaeva R.O., et al. K experimentalno-instrumentalnoj ocenke teplozashitnyh svojstv tekstilnyh materialov [On Experimental and Instrumental Evaluation of Thermal Protection Properties of Textile Materials] // Bulletin of Almaty Technological University. – 2015. – № 4. – P. 91-97. [in Russian].
5. Glushkova L.V. Fiziko-mehanicheskie svojstva tkanej bytovogo naznacheniya [Physical and Mechanical Properties of Household Fabrics]. – SPb.: SPbGUTD, 2011. – 210 p. [in Russian].
6. Masteikaitė V., Nurzhasarova M. Evaluation of Cellulosic Fabrics Surface Characteristics after Different Treatments. – Materials Science (Medžiagotyra). – 2014. – Vol. 20, No. 3. – P. 315–320.

7. Masteikaitė V., Smailova U., Nurjasarova M., Sacevicienė V., Kleveckas T. Audinių iš celiuliozės pluoštų pavirsiaus savybių vertinimas po jų įvairių poveikių [Evaluation of Surface Properties of Cellulose Fiber Fabrics after Various Treatments] // «Medžiagų inžinerija 2013» Respublikinė konferencija. – Kaunas: KTU, 2013. – P. 60-61. [in Lithuanian].
8. Kozlovskij D.A. Razrabotka metodov ocenki zhestkosti lnyanyh tkanej pri izgibe [Development of Methods for Evaluating Stiffness of Linen Fabrics under Bending]: PhD Thesis: 05.19.01. – Kostroma, 2006. – 202 p. [in Russian].
9. Smirnova N.A. Tekstilnye materialy dlya odezhdy: svojstva i oblasti primeneniya [Textile Materials for Clothing: Properties and Applications]. – M.: Legprombytizdat, 2012. – 320 p. [in Russian].
10. GOST ISO 12947–1–2015. Materialy tekstilnye. Opredelenie ustojchivosti k istiraniyu metodom Martindejla [Textile Materials. Determination of Abrasion Resistance by Martindale Method]. – Introduced 2015. [in Russian].
11. ISO 12947-2:2016. Textiles – Determination of the Abrasion Resistance of Fabrics by the Martindale Method – Part 2: Determination of Specimen Breakdown.
12. Safronova T.V. Sovremennye prokladochnye materialy v shvejnom proizvodstve [Modern Interfacing Materials in Garment Production] // Tehnologiya tekstilnoj promyshlennosti. – 2016. – № 2. – P. 45-49. [in Russian].
13. Saville B.P. Physical Testing of Textiles. – Woodhead Publishing Limited, 1999. – 432 p.
14. Petruhin S.A. Iznosostojkost tekstilnyh materialov i metody ee ocenki [Abrasion Resistance of Textile Materials and Methods of Its Evaluation] // Shvejnaya promyshlennost. – 2014. – № 5. – P. 28–31. [in Russian].
15. Kolosova E.V. Vliyanie syrevogo sostava na ekspluatacionnye svojstva tkanej dlya zhenskoj odezhdy [Influence of Raw Material Composition on Performance Properties of Fabrics for Women's Clothing] // Izvestiya vuzov. Tehnologiya tekstilnoj promyshlennosti. – 2018. – № 4. – P. 62-67. [in Russian].
16. Hearle J.W.S., Lomas B., Cooke W.D. Atlas of Fibre Fracture and Damage to Textiles. – Woodhead Publishing Limited, 2000. – 384 p.

Received: 10 February 2026
Accepted: 25 December 2026

У.У. Смайлова[1], А.К. Абдикаева[1], У.А. Вахидова[2], А.Б. Бекзат[3]

[1]Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан
[2]Ташкент тоқыма және жеңіл өнеркәсіп институты, Ташкент, Өзбекстан Республикасы
[3]Ө. Жәнібеков атындағы Оңтүстік Қазақстан педагогикалық университеті, Шымкент, Қазақстан

ӘЙЕЛ КИІМІНДЕ ҚОЛДАНЫЛАТЫН МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Мақалада әртүрлі мақсаттағы киім өндірісінде қолданылатын тоқыма материалдарының құрамында полиуретанды (серпімді) жіптерді қолдануды зерттеу нәтижелері келтірілген. Полиуретанды жіптердің табиғи және химиялық талшықтармен үйлесу ерекшеліктері, сондай-ақ олардың иірілген жіптің функционалды компоненттері ретіндегі рөлі қарастырылады. Зерттеудің әдіснамалық негізі ғылыми-техникалық әдебиеттерді талдау, жүйелік және салыстырмалы талдау және эксперименттік деректерді байланыстыру болды. Зерттеу барысында материалдың құрамына аз мөлшерде енгізілген және оның өрімінде жасырылған полиуретанды жіптері бар тіндердің құрылымдық

ерекшеліктері зерттелді. Полиуретанды жіптерді қолдану маталардың икемділігін арттыруға, бұйымдардың пішінге төзімділігін жақсартуға, мыжылуды азайтуға және пайдалану кезінде жоғары жайлылықты қамтамасыз етуге ықпал ететіні анықталды. Мұндай материалдардан жасалған киім тұлғаға жақсы қонымдылығымен, деформацияға төзімділігімен және пайдалану процесінде бастапқы пішінін сақтай алатындығымен ерекшеленеді. Зерттеу нәтижелері практикалық маңыздылыққа ие және пайдалану, сонымен қатар тұтыну қасиеттері жоғары заманауи киімдерді жобалау мен өндіруде қолданыла алады. Тоқыма материалдарында полиуретанды жіптерді қолдану функционалдылық, ыңғайлылық және эстетика талаптарына сәйкес келетін өнімдердің ассортиментін кеңейтуге мүмкіндік береді.

Тірек сөздер: текстиль, талшық, физика-механикалық қасиеттері, полиуретан, пайдалану қасиеттері.

У.У. Смайлова[1], А.К. Абдикаева[1], У.А. Вахидова[2], А.Б. Бекзат[3]

[1]Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан
[2]Ташкентский институт текстильной и лёгкой промышленности, Ташкент, Узбекистан
[3]Южно-Казахстанский педагогический университет им. О. Жанибекова, Шымкент, Казахстан

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЖЕНСКОЙ ОДЕЖДЕ

Аннотация. В статье представлены результаты исследования применения полиуретановых (эластичных) нитей в составе текстильных материалов, используемых при изготовлении одежды различного назначения. Рассматриваются особенности сочетания полиуретановых нитей с натуральными и химическими волокнами, а так же их роль как функциональных составляющих пряжи. Методологической основой исследования послужили анализ научно-технической литературы, системный и сравнительный анализ, и обощение экспериментальных данных. В процессе исследования изучены структурные особенности тканей с содержанием полиуретановых нитей, вводимых в состав материала в небольшом количестве и скрытых в его переплетении. Установлено, что использование полиуретановых нитей способствует повышению эластичности тканей, улучшению формоустойчивости изделий, снижению сминаемости и обеспечению высокой степени комфортности при эксплуатации. Отмечено, что одежда из таких материалов отличается хорошей посадкой на фигуре, устойчивостью к деформации и способностью сохранять первоначальную форму в процессе использования. Результаты исследования имеют практическую значимость и могут быть использованы при проектировании и производстве современной одежды с повышенными эксплуатационными и потребительскими свойствами. Применение полиуретаноых нитей в текстильных материалах позволяет расширить ассортимент изделий, отвечающих требованиям функциональности, удобства и эстетичности.

Ключевые слова: текстиль, волокна, физико-механические свойства, полиуретан, эксплуатационные свойства.

МРНТИ 64.29.81

К.Д. Кожабергенова[1] – *основной автор*, **Ж.Б. Байжанова[2], Г.А. Касымова[3], Б.Т. Нурмухамбетова[4], Г.А. Наетова[5]**

[1,2,3]Канд. техн. наук, ассоц. профессор, [3]Ст. преподаватель, [5]Докторант

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0003-2589-3119 [2]https://orcid.org/0000-0002-9160-9633 [3]https://orcid.org/0000-0001-9165-9027 [4]https://orcid.org/0000-0003-0313-025X [5]https://orcid.org/0009-0005-1100-6648*

[1,2]Казахский Университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан
[3,5]Таразский университет им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан
[4]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

@ *[3]kasymova.galiya@mail.ru*

©

https://doi.org/10.55956/ABZN3173

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ СПЕЦОДЕЖДЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы воздействия опасных производственных факторов для разных подотраслей металлургической промышленности воздействующие на металлурга в зависимости от условий труда. В работе представлена разработка экспериментального устройства, предназначенного для оценки огнезащищённости текстильных материалов в условиях, максимально приближённых к реальным эксплуатационным. Рассмотрены конструктивные особенности установки, принципы её функционирования, а также приведены результаты предварительных испытаний различных типов тканей.

Ключевые слова: огнезащищённость, текстильные материалы, термостойкость, испытательное устройство, тепловое излучение.

Кожабергенова, К.Д. Прогнозирование защитных свойств спецодежды при воздействии высоких температур [Текст] / К.Д. Кожабергенова, Ж.Б. Байжанова, Г.А. Касымова, Б.Т. Нурмухамбетова, Г.А. Наетова // Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №1(91). – С.224-232. https://doi.org/10.55956/ABZN3173

Введение. Для успешного решения задач в области охраны труда и обеспечения безопасности на производстве необходимо усовершенствовать такие методы и приборы, которые позволят повысить качество спецодежды, ее износоустойчивость, эстетический вид, еще на этапе проектирования.

Согласно классификации специальной одежды по защитным свойствам, одежда, используемая в металлургической отрасли, относится к средствам защиты от воздействия повышенных температур. Основное её назначение – предотвращение перегрева организма работника и создание условий, обеспечивающих нормальное функционирование центральной нервной и сердечно-сосудистой систем.

Такая спецодежда защищает от теплового излучения, искр, брызг расплавленного металла, воздействия нагретых поверхностей (от 100°C и выше), а также от конвективного тепла. Для снижения воздействия лучистой энергии применяются специальные отражающие материалы, тепловые экраны и оригинальные конструктивные решения. Комплексный подход к подбору материалов и их рациональное сочетание в многослойной структуре одежды позволяет эффективно защитить работника не только от перегрева, но и от ожогов и других травм, вызванных высокотемпературным воздействием.

Актуальность темы исследования. В условиях повышенного риска термического воздействия, особенно в металлургической, нефтехимической, энергетической и других отраслях промышленности, надежная защита рабочих от огня и высоких температур является приоритетной задачей. Эффективность средств индивидуальной защиты, в том числе специальной одежды, напрямую зависит от объективной оценки их огнезащищённости. Однако большинство существующих методов испытаний проводят в условиях, значительно отличающихся от реальных производственных ситуаций, что может привести к завышенной оценке защитных свойств материалов.

В связи с этим разработка устройства, позволяющего проводить испытания тканей в условиях, максимально приближенных к реальным эксплуатационным, имеет высокую практическую значимость. Такое устройство позволяет более точно оценивать поведение материалов при воздействии открытого пламени, теплового излучения и конвективного тепла, тем самым способствуя повышению уровня промышленной безопасности, оптимизации процессов сертификации и совершенствованию технологий производства огнезащитной спецодежды.

Условия и методы исследований. Рассматривая эксплуатацию спецодежды, конкретно на Темиртауском заводе по выпуску ферросплавов было выявлено, что уже после двух месяцев эксплуатации существующая специальная одежда является не пригодной для дальнейшего использования.

Целью исследования является разработка методики оценки свойств пакета материалов, разработка устройства для определения стойкости тканей к брызгам расплавленного металла и оценки надежности спецодежды.

В работе решались следующие задачи:

– разработка конструкции устройства для измерения температуры на внутренней поверхности пакета спецодежды;

– разработка математической модели прогноза защитных свойств спецодежды при воздействии высоких температур;

– разработка рациональных решений при выборе конструкции пакета спецодежды металлурга на основе изучения влияния воздействия частиц расплавленного металла, на защитную способность спецодежды. Задачей изобретения является создание устройства для определения стойкости тканей к брызгам расплавленного металла приближенных к реальным условиям эксплуатации.

Техническим результатом нового устройства является упрощение конструкции для определения стойкости тканей к брызгам расплавленных металлов, повышение удобства в эксплуатации.

Для достижения указанного технического результата в устройстве для определения стойкости тканей к брызгам металла нагрев содержимого тигеля осуществляют с помощью графитового электрода с токопроводящим кабелем, а наличие калиброванного отверстия в нем исключает необходимость в

двигателе, используемом для наклона его при попадании брызг металла на образец ткани. О защитных свойствах тканей судят по температуре, фиксируемой на обратной стороне, относительно попадания жидкого металла изнаночной стороне образца пакета одежды с помощью термопар, прикрепленных к сплаву Вуда. Согласно регламентируемым стандартам на защитную одежду для металлургов эта температура не должна превышать 45°С [1]. Под испытуемым образцом ткани предполагают пакет одежды, состоящий из ткани защитной накладки, основной ткани, подкладки, рубашки и белья. По исследованиям, проведенным в реальных условиях эксплуатации спецодежда по отношению к летящим брызгам расплавленного металла, находится в основном под углом 60-70° [2]. Поэтому испытуемый пакет закрепляют в держателе образца, под регулируемым углом.

Сущность изобретения поясняется чертежом, где на рисунке 1 представлено схематическое изображение устройства для определения стойкости тканей к брызгам расплавленного металла. Устройство включает держатель образца *1*, держатель тигля *2*, графитовый тигель *3* с калиброванным отверстием *4*, графитовый электрод *5*, штангу (регулируемую опору) для тигеля *6*, штангу (регулируемую опору) *7* для графитового электрода *5*, зажим для крепления токопроводящего кабеля *8*, держатель графитового электрода *9*, поддон с песком *10*. На образец пакета, закрепленный в держателе образца *1*, капает металл из калиброванного отверстия *4* графитового тигля *3*. Для определения температуры на изнаночной стороне образца ткани используют термопары *12*, прикрепленные к сплаву Вуда, который помещают на обратной стороне образца ткани. Держатель образца ориентируют под разными углами от 0-80°.

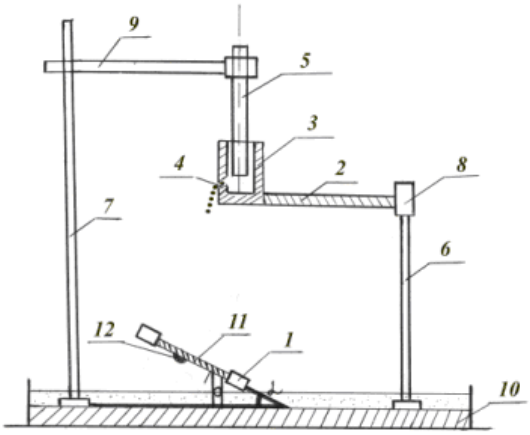


Рис. 1. Устройство для определения огнезащищенности текстильных материалов

Регулируемый под разными углами образец ткани закрепляют в держателе образца *1* под углом 60-80°. В тигель *3* помещают металл (крупные опилки или маленькие кусочки), опускают в него графитовый электрод *5* и нагревают пропусканием электрического тока через токопроводящий кабель *8* до расплавления металла в тигле. Расплавленный металл через калиброванное отверстие *4* в тигле *3* капает на образец ткани *11*, при этом с помощью термопары, закрепленной с помощью сплава Вуда на обратной стороне

образца ткани, определяют температуру на изнаночной стороне пакета ткани. От ранее известных устройств для определения степени огнезащищенности, предлагаемое устройство отличается простотой технического решения.

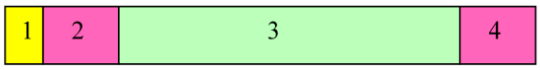
Использование не одного материала, а пакета одежды, позволяет получить результаты приближенные к реальным условиям эксплуатации спецодежды.

Для исследований были приняты два вида металла, различающихся по температуре плавления, поверхностному натяжению и теплофизическим свойствам.

Как видно из представленных данных, принятые два вида металла – олово и свинец отличаются основными параметрами: температурой плавления, поверхностному натяжению, теплопроводности, теплоемкости [3].

Результаты исследований и их обсуждение. Для определения воздействия высоких температур на человека и прогнозирования защитных свойств спецодежды была разработана математическая модель теплообмена системы – окружающая среда-спецодежда-человек.

Геометрическая модель этой системы представлена на рисунке 2.



1 – кожный покров; 2 – х/б ткань подкладочная; 3 – сукно; 4 – х/б ткань накладная.

Рис. 2. Геометрическая модель защитного пакета спецодежды

На рисунке 2 схематически изображено сечение защитного пакета, состоящее из слоев материалов с различными свойствами.

Процессы теплообмена в слоях пакета спецодежды описываются уравнением нестационарной теплопроводности [4]

$$c \cdot p \cdot \frac{\partial u}{\partial t} = \overrightarrow{div}(k \cdot \overrightarrow{gradu}), \qquad (1)$$

где: $u = u(x, y, z, t)$ – температура в точке с координатами x, y, z в момент времени t; c – теплоемкость, рассматриваемого материала; p – плотность материала; k – коэффициент теплопроводности материала.

В начальный момент времени распределение температуры в рассматриваемой среде считается известным (начальные условия), а также известной считается температура воздействия на поверхности в любой момент времени (граничные условия).

Выбирая направление оси Ox перпендикулярно защитным слоям одежды и считая, что распространение тепла происходит вдоль этой оси с учетом принятой геометрической модели, уравнение (1) с начальными и граничными условиями будет иметь следующий вид:

$$c \cdot p \cdot \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}(k \cdot \frac{\partial u}{\partial x}), \qquad (2)$$

$$u(x, 0) = \varphi(x), \tag{3}$$

$$u(0, t) = u_0,\ u(h, t) = u_1, \tag{4}$$

где: $\varphi(x)$ – функция распределения температуры в каждом слое в начальный момент времени при t=0; h – толщина пакета; u_0 – температура на внутренней поверхности пакета; u_1 – температура на внешней поверхности пакета.

Система соотношений (2)-(4) позволяет рассчитать распределение температуры в пакете защитной одежды в зависимости от свойств используемых материалов и теплового воздействия.

Решение поставленной задачи будем выполнять методом конечных разностей [4]. Принимая сетку разбиения по координате x и по времени t, будем определять приближенные значения решения в узлах сетки разбиения. Заменяя частные производные в узлах сетки разбиения конечными разностями, получим:

$$\frac{\partial u}{\partial t} \approx \frac{u_{i,j+1} - u_{i,j}}{\Delta t}, \tag{5}$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(k \cdot \frac{\partial u}{\partial x}) \approx \frac{k_{i+1} \cdot u_{i+1,j} - (k_{i+1} + k_i) \cdot u_{i,j} + k_i \cdot u_{i-1,j}}{\Delta x^2}, \quad i = \overline{1,n},\ j = 0,1,2,..., \tag{6}$$

где: Δt – величина шага разбиения по времени; Δx – величина шага разбиения по толщине пакета; i, j – номера узлов сетки разбиения.

Тогда соотношения (2)-(4) относительно величины $u_{i,j+1}$ с учетом (5) и (6) примут вид:

$$u_{i,j+1} = u_{i,j} \cdot \left(1 - \frac{\Delta t \cdot (k_{i+1} + k_i)}{p_i \cdot c_i \cdot \Delta x^2}\right) + \frac{\Delta t \cdot (k_{i+1} \cdot u_{i+1,j} + k_i \cdot u_{i-1,j})}{p_i \cdot c_i \cdot \Delta x^2}, \tag{7}$$

$$u_{i,0} = \varphi(x_i), \tag{8}$$

$$u_{1,j} = \varphi 1_j,\ u_{n,j} = \varphi 2_j, \tag{9}$$

где: c_i, p_i, k_i – значения теплоемкости, плотности и теплопроводности слоя материала, заключенного между i – 1 и i узлами разбиения; $u_{i,0}$ – температура пакета в узлах сетки разбиения в начальный момент времени t = 0; $\varphi 1_j$, $\varphi 2_j$ – значения температуры на внутренней и внешней поверхности защитного пакета в узлах сетки разбиения в момент времени t соответственно.

При известных значениях $u_{i-1,j}$, $u_{i,j}$, $u_{i+1,j}$ определяется величина $u_{i,j+1}$. В начальный момент времени t = 0 все значения $u_{i,0}$ в (8) считаются заданными. Тогда по формуле (7) можно рассчитать величины $u_{i,j+1}$ во всех внутренних точках сетки разбиения. Значения в крайних точках определяются из граничных условий (9).

Следует отметить, что проектирование спецодежды сопряжено с оценкой ее эффективности, то есть установлением соответствия одежды заданным защитным свойствам, а так же оценки последствий вредных воздействий [5,6].

Критерием эффективности формирования пакета при проектировании спецодежды являются рекомендации, в соответствии с которыми спецодежда должна обеспечивать защиту при воздействии температур не менее 70°С в течение 25 минут. При данных воздействиях не должно быть превышения температуры на внутренней поверхности композиции слоев одежды более 50°С в указанный промежуток времени.

В таблице 1 представлены теплофизические характеристики материалов, входящих в защитный пакет. Толщина слоёв пакета показана в таблице 2.

Таблица 1

Теплофизические характеристики материалов

Наименование материала	Плотность с, кг/м^3	Теплоёмкость р, дж/кг°С	Теплопроводность k, Вт/ м^2°С
Ткань х\б подкладочная, накладная	440	1380	0,050
Сукно	281	1680	0,045
Кожный покров	1050	3600	0,383

Таблица 2

Толщина слоёв защитного пакета спецодежды

Номер слоя	1	2	3	4
Толщина слоя, мм	0,50	0,75	3,50	0,75

Численный расчет проводился для защитного пакета, представленного на рисунке 1. В таблице 3 показаны значения распределения температуры в сечении пакета в узлах сетки разбиения: $i = 1, \ldots, 16$; $j = 25m$; $m = 1, \ldots, 12$.

Таблица 3

Температура в узлах сетки разбиения

i	*j*												
	1	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
1	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
2	28	33.082	34.46	35.633	36.489	37.076	37.471	37.735	37.912	38.03	38.108	38.161	38.196
3	20	30.312	33.048	35.365	37.047	38.198	38.973	39.491	39.838	40.069	40.223	40.326	40.395
4	20	27.897	31.951	35.338	37.773	39.434	40.551	41.298	41.797	42.13	42.353	42.502	42.601
5	20	25.994	31.319	35.661	38.74	40.833	42.238	43.178	43.806	44.225	44.505	44.691	44.816
6	20	24.749	31.288	36.428	40.013	42.438	44.063	45.15	45.875	46.36	46.683	46.899	47.044
7	20	24.311	31.98	37.713	41.64	44.28	46.047	47.288	48.016	48.543	48.894	49.129	49.285
8	20	24.711	33.38	39.492	43.599	46.346	48.181	49.406	50.224	50.77	51.134	51.378	51.54
9	20	26.107	35.548	41.79	45.907	48.644	50.469	51.687	52.5	53.043	53.405	53.647	53.809
10	20	28.66	38.513	44.611	48.561	51.172	52.911	54.071	54.845	55.362	55.707	55.937	56.091
11	20	32.508	42.269	47.935	51.546	53.921	55.5	56.553	57.256	57.725	58.038	58.247	58.386
12	20	37.73	46.77	51.722	54.832	56.87	58.223	59.124	59.725	60.127	60.395	60.574	60.693
13	20	44.304	51.93	55.908	58.378	59.99	61.059	61.771	62.246	62.563	62.775	62.916	63.01
14	20	52.076	57.626	60.414	62.129	63.246	63.985	64.478	64.807	65.026	65.172	65.27	65.336
15	20	60.753	63.699	65.141	66.022	66.595	66.974	67.227	67.395	67.508	67.583	67.633	67.666
16	20	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70

На рисунке 3 представлены графики изменения температуры *u* от времени *t* в различных слоях при воздействии температуры на внешнюю поверхность защитного пакета одежды. На рисунке кривая *1* соответствует

внутренней поверхности защитного слоя, кривые *2* и *3* – внутренней и внешней поверхности основного защитного слоя.

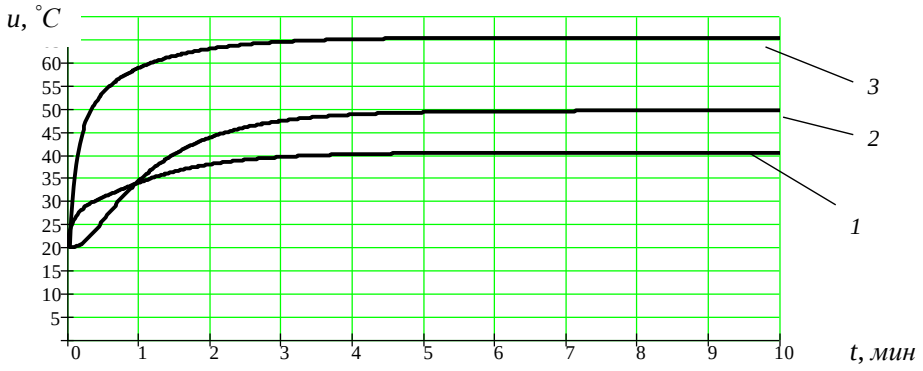


Рис. 3. Зависимость температуры *u* от времени *t* при воздействии температуры на внешнюю поверхность пакета

Полученные результаты показывают, что при внешнем воздействии в 70°С на внутренней поверхности пакета температура не превышает 41°С.

Таким образом, предлагаемая модель позволяет проводить оценку температурного воздействия в различных слоях защитного пакета.

Заключение. Разработана оригинальная установка, приближенная к реальным условиям эксплуатации защитного костюма для определения температуры на изнаночной стороне пакета.

Разработана модель пакета одежды позволяющая прогнозировать температурное воздействие в различных слоях защитного пакета с использованием математической модели теплообмена системы: окружающая среда-спецодежда-человек.

На основе многочисленных экспериментальных исследований и установлений зависимостей между видами пакетов, температурой на изнаночной стороне, времени воздействии и углов наклона испытуемых образцов тканей выявлено, что наиболее приемлемым и надежным в эксплуатации является пакет 2 состоящий: из накладки «Термолин», основной ткани – серошинельное сукно, подклада – бязь, рубашки – х/б и майки – фланель.

Список литературы

1. ТР ТС 019/2011. О безопасности средств индивидуальной защиты. Решение Комиссии таможенного союза от 9 декабря 2011 года № 878 [Текст].
2. Шульц, Л.О. Совершенствование методического и приборного обеспечения процесса проектирования спецодежды для защиты от повышенных температур [Текст]: автореф. дис. … канд. техн. наук / Л.О. Шульц. – Ленинград, 1999. – С. 3-8.
3. [?] Рабочая одежда и средства индивидуальной защиты [Текст] // [?]. – 2008. – № 1. – С. 6-7.
4. Рыскулова, Б.Р. Методы проектирования специальной одежды [Текст]: монография / Б.Р. Рыскулова, Ж.Б. Байжанова. – Алматы: Издательский центр КБТУ, 2019. – 230 с.
5. Кельберт, Д. Охрана труда в текстильной промышленности [Текст] / Д. Кельберт. – М.: Легкая индустрия, 1971. – 238-240 с.

6. Жилисбаева, Р.О. Проектирование спецодежды для металлургов [Текст]: монография / Р.О. Жилисбаева. – Алматы, 2006. – 156 с.

Материал поступил в редакцию 30.10.25, принят 20.01.26.

К.Д. Кожабергенова[1], Ж.Б. Байжанова[1], Г.А. Касымова[2], Б.Т. Нурмухамбетова[3], Г.А. Наетова[2]

[1]Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Казақстан
[2]М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Казақстан
[3]Л.Н Гумилев атындағы Еуразия ұлттык университеті, Астана, Казақстан

АРНАЙЫ КИІМДЕРДІҢ ЖОҒАРЫ ТЕМПЕРАТУРА ӘСЕРІНДЕГІ ҚОРҒАУ ҚАСИЕТТЕРІН БОЛЖАУ

Аңдатпа. Мақалада еңбек жағдайына байланысты металлургтерге әсер ететін қауіпті өндірістік факторлардың металлургия өнеркәсібінің әртүрлі қосалқы салаларына әсері қарастырылған. Тоқыма материалдарының нақты пайдалану жағдайларына барынша отқа төзімділігін бағалауға арналған тәжірибелік құрылғының дайындау ұсынылған. Жұмыста қондырғының конструктивтік ерекшеліктері, оның жұмыс істеу үрдістері қарастырылып, әртүрлі маталар түрлерін алдын ала сынау нәтижелері берілген.

Тірек сөздер: трикотаж, жұмсақ тоқу, полимерлі оптикалық талшық, арқау жіп, беріктік, тозу.

K.D. Kozhabergenova[1], Zh.B. Baizhanova[1], G.A. Kassymova[2], B.T. Nurmukhambetova[3], G.A. Nayetova[2]

[1]K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan
[2]M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan
[3]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

PREDICTION OF THE PROTECTIVE PROPERTIES OF SPECIAL CLOTHING UNDER HIGH-TEMPERATURE EXPOSURE

Abstract. The article examines the impact of hazardous industrial factors across different sub-sectors of the metallurgical industry affecting workers depending on working conditions. The study presents the development of an experimental device designed to assess the fire-resistant properties of textile materials under conditions as close as possible to real operating conditions. The design features of the installation, its operating principles, and the results of preliminary tests of various types of fabrics are discussed.

Keywords: fire resistance, textile materials, thermal resistance, testing device, thermal radiation.

References

1. TR TS 019/2011. O bezopasnosti sredstv individual'noy zashchity [On Safety of Personal Protective Equipment]. – 2011. [in Russian].
2. Shultz L.O. Sovershenstvovanie metodicheskogo i pribornogo obespecheniya protsessa proektirovaniya spetsodezhdy dlya zashchity ot povyshennykh temperatur [Improvement of Methodical and Instrumental Support of Protective Clothing Design Process for High Temperature Protection]: Dis. Cand. of Tech. Sci. – Leningrad, 1999. – P. 3-8. [in Russian].

3. Rabochaya odezhda i sredstva individual'noy zashchity [Work Clothing and Personal Protective Equipment] // [?]. – 2008. – No. 1. – P. 6-7. [in Russian].
4. Ryskulova B.R., Baizhanova Zh.B. Metody proektirovaniya spetsial'noy odezhdy [Methods of Special Clothing Design]: monograph. – Almaty: Izdatel'skiy tsentr KBTU, 2019. – P. 230. [in Russian].
5. Kel'bert D. Okhrana truda v tekstil'noy promyshlennosti [Occupational Safety in Textile Industry]. – M.: Legkaya industriya, 1971. – P. 238-240. [in Russian].
6. Zhilisbaeva R.O. Proektirovanie spetsodezhdy dlya metallurgov [Design of Protective Clothing for Metallurgists] : monografiya – Almaty, 2006. – P. 156. [in Russian].

ҒТАМР 67.21.17

Г.А. Жаирбаева[1] – *негізгі автор*,
А.Ж. Жусупбеков[2], Н.У. Шакирова[3], А.С. Мукашева[4], Г.Т. Тлеуленова[5]

©

[1,4]Докторант, [2]Техн. ғылым. д-ры, профессор, [3,5]PhD

ORCID
[1]https://orcid.org/0009-0009-9501-5144 [2]https://orcid.org/0000-0003-2229-1059
[3]https://orcid.org/0000-0002-7968-4446 [4]https://orcid.org/0009-0008-7446-5704
[5]https://orcid.org/0000-0003-2806-1588

[1,2,3,4,5]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
Астана, Қазақстан

@ *[5]gulshattleulenova7@gmail.com*

https://doi.org/10.55956/TPQC2682

I ТИПТІ ШӨГУГЕ БЕЙІМ ТОПЫРАҚТАР ЖАҒДАЙЫНДА ҚАҒЫЛҒАН ҚАДАЛАРДЫ СТАТИКАЛЫҚ СЫНАУ

Аңдатпа. Мақалада I типті шөгуге бейім топырақтарда жүргізілген қағылған темірбетон қадалардың далалық сынақтарының нәтижелері қарастырылған. Сынақтар салынып жатқан зауыттың жөндеу-механикалық шеберханасының құрылыс алаңында орындалды. Зерттеудің негізгі мақсаты – шөгуге бейім топырақ жағдайында тік бағыттағы статикалық басу жүктемесі әсерінен қағылған қадалардың көтергіштік қабілетін анықтау болды. Статикалық сынақтар МЕМСТ 5686-2012 талаптарына сәйкес жүргізілді. Жүктеме түсіру алдында шөгуге бейім топырақты суға қанықтыру мақсатында негіз 3,8 м тереңдікке дейін алдын ала суландырылды. Инженерлік-геологиялық ізденістер аясында топырақ үлгілеріне зертханалық сынақтар жүргізіліп, олардың физика-механикалық қасиеттері анықталды, сондай-ақ жүктеме мен уақытқа байланысты қаданың шөгу графиктері тұрғызылды. Сынақ нәтижелері бойынша С120.30-13 маркалы қағылған қадалардың жоғары көтергіштік қабілетке (1083 кН-ға дейін) және өте аз шөгу мәндеріне (4,7 мм-ге дейін) ие екендігі анықталды. Бұл көрсеткіштер олардың күрделі инженерлік-геологиялық жағдайларда құрылыс жүргізу кезінде тиімді әрі сенімді екенін дәлелдейді.

Тірек сөздер: шөгуге бейім топырақ, қағылған қада, статикалық сынақтар, көтергіштік қабілет.

Жаирбаева, Г.А. I типті шөгуге бейім топырақтар жағдайында қағылған қадаларды статикалық сынау [Мәтін] / Г.А. Жаирбаева, А.Ж. Жусупбеков, Н.У. Шакирова, А.С. Мукашева, Г.Т. Тлеуленова //Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.233-242. https://doi.org/10.55956/TPQC2682

Кіріспе. Нысанды жобалау және салу жұмыстары шөгуге бейімдік классификациясы бойынша I типке жататын шөгуге бейім топырақтардың болуымен күрделенеді. Құрылып жатқан нысанның құрылыс алаңында жүргізілген далалық зерттеулер аясында темірбетон қағылған қадаларға тік бағыттағы статикалық басу жүктемесі бойынша сынақтар жүргізілді. Сынақтардың негізгі мақсаты – қадаларды орнатудың әртүрлі технологиялары кезінде шөгуге бейім топырақтар жағдайында темірбетон қағылған қадалардың көтергіштік қабілетін анықтау болды. Осы мақсатты

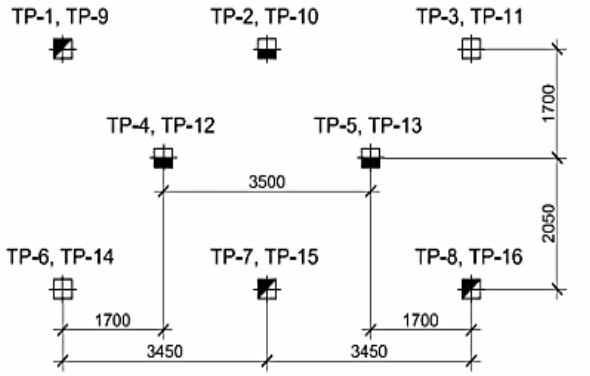
жүзеге асыру үшін сынақтық қадаларға МЕМСТ 5686-2020 «Топырақтар. Қадалармен далалық сынау әдістері» талаптарына сәйкес статикалық сынақтар орындалды.

Шөгуге бейім топырақтарда қағылған қадаларды статикалық жүктемеге сынау атмосфералық жауын-шашынның әсерін бағалау және іргетас жүйесінің көтергіштік қабілетін анықтау тұрғысынан аса маңызды болып табылады [1]. Бұл құбылыс қаданың ұзақ мерзімді беріктігі мен сенімділігін арттыруы мүмкін, сондықтан оны жобалау кезеңінде міндетті түрде ескеру қажет. Қағылған қадалардың көтергіштік қабілеті, әсіресе әлсіз немесе орнықсыз топырақтар таралған аймақтарда, шешуші фактор болып саналады. Қаданың шөгуін дәл есептеу кезінде оның материалының қасиеттері, геометриялық өлшемдері және қоршаған топырақтың сипаттамалары ескерілуі тиіс [2]. Топырақ пен қада арасындағы өзара әрекеттесуді түсіну қаданың жүктеме әсеріндегі жұмысын болжау және құрылымды сенімді түрде көтеріп тұруын қамтамасыз ету үшін маңызды [3]. Осылайша, шөгуге бейім топырақтарда қағылған қадаларды статикалық жүктемеге сынау кезінде атмосфералық ылғалданудың қаданың көтергіштік қабілетіне әсері және оның төмендеу қаупі жан-жақты қарастырылуы қажет. Топырақты зерттеу мен материалды дұрыс таңдауды қамтитын мұндай кешенді тәсіл күрделі инженерлік-геологиялық жағдайларда қағылған қадалы іргетастарды табысты жобалау мен қолданудың негізі болып табылады [4,5].

Сынақтар Солтүстік Қазақстан аумағында орналасқан өнеркәсіптік кәсіпорынмен жасалған келісімшарт негізінде жүргізілді. Осыған байланысты жобаланатын нысанның құрылыс алаңында инженерлік-геологиялық ізденістер орындалды. Зерттеу нәтижелері бойынша 37 м барланған тереңдікке дейінгі геологиялық қимада қабат қалыңдығы мен жату тереңдігі тұрақты болатын 6 инженерлік-геологиялық элемент анықталды. ИГЭ-1 инженерлік-геологиялық элементі қатты консистенциялы, карбонатталған, қоңыр түсті құмдақ саздақпен сипатталады, оның құрамында қалыңдығы 2–3 см болатын аз ылғалды майда түйіршікті құм қабатшалары мен қосындылары бар. Бұл қабаттың табанының абсолюттік белгілері 115,63-116,60 м аралығында, ал қалыңдығы 3,0-4,4 м шегінде өзгереді. Аталған топырақтар шөгу қасиетіне ие және жер бетінің деңгейінен шамамен 4 м тереңдікке дейін таралған. Мақалада келтірілген қадалардың шөгуінің жүктемеге және уақытқа тәуелділік графиктері деформация шамасын ғана емес, сонымен қатар негізді алдын ала суландырғаннан кейін I типті шөгуге бейім топырақтар жағдайында «қада-топырақ» жүйесінің өзара әрекеттесу сипатын бағалауға мүмкіндік береді. «Жүктеме-шөгу» қисықтарын талдау жүктеме түсірудің барлық сатыларында шөгудің бірқалыпты артатынын, айқын сынулардың және үдемелі деформацияға өтудің байқалмайтынын көрсетеді [6,7]. Бұл суландырылған шөгуге бейім топырақта негізгі құрылымдық қайта құрулар ылғалдану кезеңінде жүзеге асатынын, ал кейінгі статикалық жүктеме кезінде қада негізінен топырақтың тығыздалуымен сипатталатын деформация жағдайында жұмыс істейтінін дәлелдейді. Жүктеменің бастапқы кезеңінде қада сабы мен топырақ арасындағы жанасудың іске қосылуына және қада маңындағы аймақта кернеулердің қайта бөлінуіне байланысты шамалы шөгулер байқалады. Жүктеме артқан сайын бүйірлік кедергі мен қада ұшы астындағы кедергінің біртіндеп жұмысқа тартылуы жүреді, бұл ең жоғары сынақ жүктемелеріне дейін шөгудің жедел өсуінің болмауымен расталады. Суландырылғаннан кейін шөгуге бейім топырақтарда қадалардың жұмыс істеуінің басты ерекшелігі – топырақтың құрылымдық орнықсыздығы

жойылып, жүктеме әсерінен қосымша шөгу қаупінің төмендеуі. Бұл жағдайда суланған шөгуге бейім топырақ шектеулі сығылғыштығы бар суға қаныққан құмдақ саздақ ретінде әрекет етеді, ал қадаларды қағу қада маңындағы аймақтың қосымша тығыздалуына ықпал етеді. Осы факторлар салыстырмалы түрде жоғары жүктемелер кезінде де шөгудің аз мәндерін түсіндіреді. Осылайша, алдын ала суға қанықтырылған I типті шөгуге бейім топырақтарда қадалардың көтергіштік қабілеті шөгу деформацияларымен емес, тығыздалған топырақ массивінде қаданың бүйір беті мен табанының бірлескен жұмысымен анықталатынын дәлелдейді. Шекті күй белгілерінің болмауы қадалы негіздің деформацияға қатысты айтарлықтай қоры бар екенін және оның орнықты жұмыс істейтінін көрсетеді

Зерттеу шарттары мен әдістері. Сынақ элементтері ретінде ұзындығы 12,0 м және қимасы 300×300 мм болатын С120.30-13 маркалы темірбетон қадалар қолданылды. Жобалық жоспарлау белгісінен 121,00 м деңгейде ростверктің салыну тереңдігі 2,60 м және қалыңдығы 100 мм бетон дайындығы ескеріліп, қазаншұңқыр түбінің белгісі 118,30 м деңгейінде қабылданды. Құрылыс алаңындағы жер бетінің абсолюттік белгісі 120,20 м құрайды. Сынақ бағдарламасына сәйкес екі тәжірибелік полигон ұйымдастырылды. №1 тәжірибелік полигонда қадалар жер бетінен тікелей қағу әдісімен орнатылды. №2 тәжірибелік полигонда қадаларды монтаждау алдын ала бұрғыланған, тереңдігі қаданың ұзындығынан 1 м кем скважиналарға жүргізілді (1-сурет). Сынақтар екі сынамалық қадада жүргізілді: №1 полигонда – ТР-3 қадасы, №2 полигонда – ТР-11 қадасы. Қадалардың орналасу сызбасына сәйкес ТР-3 қадасы жер бетінің 120,186 м абсолюттік белгісінен 108,786 м белгісіне дейін батырылды. №2 полигонда ТР-11 қадасы 119,780 м абсолюттік белгісінен 108,280 м белгісіне дейін батырылды. Әрбір қаданың батырылу тереңдігі 11,40 м құрады (3-сурет).



Сурет 1. №1 және №2 полигондардағы қағылған қадалардың орналасу сызбасы

Негізді дайындау және топырақты суландыру. Жоғарғы топырақ қабатының (құмдақ саздақтың) шөгуге бейімділігіне байланысты МЕМСТ 5686-2012 [8] стандартының 4.6-тармағына сәйкес негіз 3,80 м тереңдікке дейін алдын ала суландырылды. Ол үшін тәжірибелік полигонның периметрі бойынша ені 0,60 м және тереңдігі 1,10 м болатын ор қазылды, ал оның түбінен диаметрі 0,30 м және тереңдігі 2,70 м дренаждық ұңғымалар бұрғыланып, кейіннен қиыршық таспен толтырылды. Суландыру сынақтар

басталғанға дейін жүргізіліп, оларды өткізу кезеңінің барлығында жалғастырылды. Суландыру аяқталғаннан кейін шөгуге бейім, суға қаныққан топырақтан сынамалар алынып, суға қанығу дәрежесін анықтау мақсатында олардың физика-механикалық қасиеттері бойынша жиынтық ведомость құрастырылды. Үлгілердің физика-механикалық сипаттамалары 1-кестеде келтірілген.

Қадаларды сынау әдістемесі. Сынақтар қадалар қағылғаннан кейін 34-36 тәулік өткен соң жүргізілді, бұл жүктеме түсіру алдындағы қадалардың топырақта ұсталу мерзіміне қойылатын нормативтік талаптарға сәйкес келеді. Статикалық сынақтар анкерлі-тіреу стендінің (сурет 2а) және жүктемелік платформаның (сурет 2б) көмегімен орындалды.

а б

в г

Сурет 2. Қадаларды статикалық сынақтан өткізу үдерісі

Жүктеме Enerpac P462 қол сорғысына жоғары қысымды шлангілер (РВД) арқылы қосылған ДГ200П150 маркалы гидравликалық домкратпен жасалды, ал күш мәні МА100ВУ100 манометрімен бақыланды. Қадалардың тік орын ауыстырулары (шөгуі) дәлдігі 0,01 мм болатын екі 6ПАО индикатор-прогибомер арқылы өлшенді (сурет 2в), барлық көрсеткіштер далалық сынақ журналына тіркелді.

Суық мезгілде сынақ платформасы қорғаныш жамылғымен жабылып, сынақ қадасы жүктеме берілер алдында кемінде 24 сағат бойы жылытылды. Қадаларға жүктеме сатылы түрде түсірілді. №1 тәжірибелік полигонда жүктеменің алғашқы үш сатысы 123 кН-нан, ал келесі сатылары 61 кН-нан құрап, біртіндеп 1047 кН ең жоғары мәнге дейін жеткізілді. №2 полигонда да осыған ұқсас жүктеме режимі қолданылды: алғашқы үш саты – 123 кН, одан әрі жүктеме 61 кН-нан арттырылып, 801 кН шекті жүктемеге дейін жеткізілді.

Сынақ барысында жүктеменің әрбір деңгейінде барлық бақылау-өлшеу аспаптарының көрсеткіштері тіркеліп, жүктеме шамасын бақылау және қаданың орын ауыстыруын бағалау үшін орташа мәндер есептелді. Әрбір жүктеме сатысы соңғы бір сағаттағы шөгу шамасы 0,1 мм-ден аспайтын шартты тұрақтану критерийіне жеткенге дейін ұсталды.

Ең жоғары жүктемеге жеткеннен кейін жүктеме екі еселенген сатылармен түсіріліп, әрбір кезеңде кемінде 15 минут бақылау жүргізілді. Жүктемені толық алып тастағаннан кейін серпімді қалпына келу орын ауыстыруларын бақылау мақсатында 60 минуттық бақылау ұйымдастырылып, мәліметтер әр 15 минут сайын тіркелді.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. МЕМСТ 5686-2012 стандартының 4.6-тармағында регламенттелген технологияға сәйкес негізді 3,80 м тереңдікке дейін суландыру нәтижесінде тәжірибелік полигон шегінде шөгуге бейім топырақтың біркелкі суға қанығуы қамтамасыз етілді. Суландырудан кейінгі сынақ нәтижелері 1-кестеде келтірілген.

Физика-механикалық сынақтардың нәтижелері бойынша сынама алынған барлық тереңдіктерде ылғалдылық дәрежесінің 0,8-ден жоғары екендігі анықталды, бұл тәжірибелік полигондағы шөгуге бейім топырақты суландыруға қойылатын МЕМСТ талаптарына толық сәйкес келеді.

Кесте 1

Суға қаныққан шөгуге бейім топырақ үлгілерінің физика-меаникалық қассиеттері

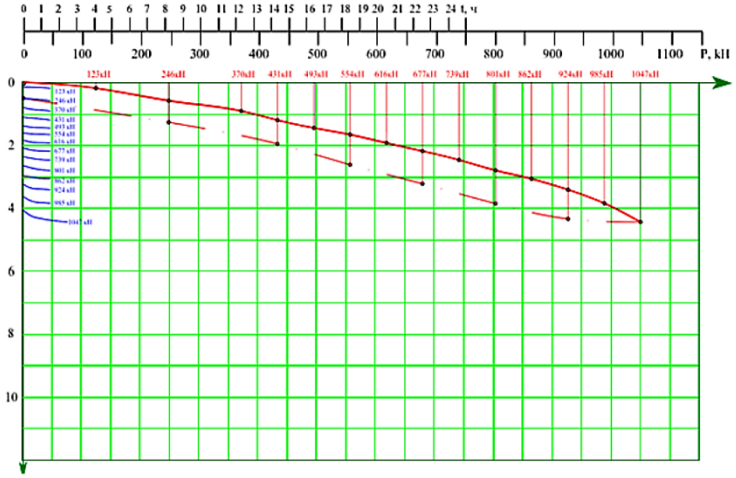
№	Өндіру	Сынама алу тереңдігі	Ағынының шекарасы, %	Илемдеу шекарасы, %	Икемділік саны, %	Табиғи ылғалдылық, %	Аққыштық көрсеткіші	тығыздығы г/см^3			Кеуектілік коэффициенті, W	Ылғалдылық дәрежесі	Топырақ атауы
								Табиғи	Құрғақ топырақ	Бөлшектерінің тығыздығы ρ_d			
1	с-1	0,7-1,0	22	17	5	20,8	0,76	1,99	1,65	2,70	0,636	0,883	Құмды саз
2	с-2	1,5-2,0	21	15	6	19,4	0,73	1,96	1.64	2,70	0,646	0,811	
3	с-3	2,5- 3,0	20	13	7	19,8	0,97	1,95	1,63	2,70	0,656	0,815	
4	с-4	3,5-4,0	18	13	5	16,4	0,63	2,03	1.74	2,70	0,556	0,802	

МЕМСТ 5686–2012 талаптарына сәйкес жүргізілген далалық сынақтардың нәтижелері бойынша №1 полигондағы қадалар үшін шекті жүктеме 1047 кН болған кезде олардың орын ауыстыруы (шөгуі) 4,71 мм құрады (3-сурет). Ал №2 полигонда шекті жүктеме 801 кН кезінде қадалардың шөгу шамасы 4,11 мм болды (4-сурет).

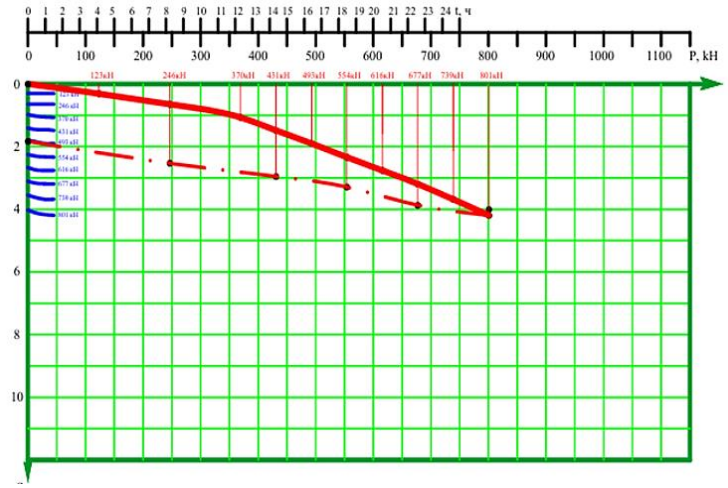
Негізді 3,8 м тереңдікке дейін алдын ала суландырғаннан кейін I типті шөгуге бейім топырақ суға қаныққан күйге өтті, бұл жағдайда шөгу деформациялары негізінен ылғалдану кезеңінде жүзеге асады, ал жүктеме әсеріндегі топырақтың кейінгі жұмысы тығыздалу сипатында болады. Осы жағдайларда қағылған қаданың жұмысы жүктемені бүйір беті бойынша кедергі және қада ұшы астындағы кедергі арқылы бірлесіп қабылдаумен анықталады.

№1 және №2 полигондардағы сынақ нәтижелерін салыстыру қадалардың ұзындығы бірдей (11,40 м) және инженерлік-геологиялық жағдайлары ұқсас болғанымен, шекті жүктеме мен деформациялану сипаты

бойынша айырмашылықтардың бар екенін көрсетті. №1 полигонда қадалар жер бетінен қағу әдісімен батырылды, бұл қада мен негіздің жанасу аймағында топырақтың қосымша тығыздалуына әкелді. Соның нәтижесінде бүйірлік кедергі де, қада ұшы астындағы кедергі де артты, бұл 4,71 мм шөгу кезінде жүктемені 1047 кН-ға дейін жеткізуге мүмкіндік берді. №2 полигонда қадалар алдын ала бұрғыланған ұңғымаларға орнатылды, бұл керісінше қада сабы маңындағы топырақтың тығыздалу дәрежесін төмендетті.



Сурет 3. №1 тәжірибелік полигон үшін қағылған қаданың шөгуінің *S* жүктемеге *P* тәуелділік графиктері және қаданың шөгуінің *S* уақыт бойынша *t* (жүктеме сатылары бойынша) өзгеруі. С120.30-13 маркалы ТР-3 қадасы, топыраққа 11,40 м тереңдікке батырылған



Сурет 4. №2 тәжірибелік полигон үшін қағылған қаданың шөгуінің *S* жүктемеге *P* тәуелділік графиктері және қаданың шөгуінің *S* уақыт бойынша *t* (жүктеме сатылары бойынша) өзгеруі

«Жүктеме-шөгу» қисықтарын (3 және 4-суреттер) талдау шекті жүктемелерге жақындаған кезде де айқын сынудың және шөгудің үдемелі

өсуінің жоқ екенін көрсетеді, бұл қада мен топырақ арасындағы өзара әрекеттесудің негізінен серпімді-пластикалық сипатта дамитынын дәлелдейді. Бұл суландырылғаннан кейін шөгуге бейім топырақтың қосымша құрылымдық қайта құру қабілетін жоғалтқанын, ал одан әрі деформациялар қада айналасындағы топырақтың сығылуы мен ығысуымен реттелетінін көрсетед [9,10]. Сонымен қатар, қадаларды қағу қада маңындағы аймақта топырақтың қосымша тығыздалуына ықпал еткенін атап өткен жөн, бұл суға қаныққан шөгуге бейім құмдақ саздақтар үшін ерекше маңызды. Нәтижесінде жүктеменің жоғары деңгейлерінде де шөгу дамуын шектейтін неғұрлым қатты жанасу аймағы қалыптасады.

Кесте 2
Шекті жүктеме кезіндегі қадалардың шөгуі бойынша салыстырмалы деректер

№ қада	Полигон	Ең жоғары жүктеме, кН	Қаданың шөгуі, мм
ТР-3	№1	1047	4.71
ТР-11	№2	801	4.11

С120.30-13 маркалы ТР-11 қадасы, топыраққа 11,40 м тереңдікке батырылған. Қадаларды орнату технологиясының олардың жұмыс істеуіне әсерін бағалау мақсатында екі тәжірибелік полигонда шекті тік статикалық жүктеме кезіндегі қадалардың шөгу шамаларына салыстырмалы талдау жүргізілді. №1 полигонда қадалар жер бетінен тікелей қағу әдісімен орнатылса, №2 полигонда қадалар алдын ала бұрғыланған ұңғымаларға орнатылды. Бұл әртүрлі орнату жағдайларында қадалар мен топырақтың өзара әрекеттесу ерекшеліктерін талдауға мүмкіндік берді. Далалық сынақтардың нәтижелері 2-кестеде келтірілген.

Алынған деректерді талдау нәтижелері жоғарырақ шекті жүктеме кезінде (1047 кН) қағу әдісімен орнатылған қадалардың (№1 полигон) шөгу шамалары №2 полигондағы қадалардың шөгу мәндерімен (801 кН жүктеме кезінде) шамалас екенін көрсетеді. Бұл қадаларды қағу кезінде олардың жұмыс істеу жағдайларының анағұрлым берік әрі орнықты болатынын, сондай-ақ топырақпен сенімді жанасу қалыптасып, «қада-негіз» жүйесінің қаттылығы жоғары екенін дәлелдейді.

Ең үлкен тіркелген шөгу мәні №1 полигондағы ТР-3 қадасы үшін 4,71 мм болды, бұл 1000 кН-нан асатын жүктеме кезінде рұқсат етілетін шама болып табылады және конструкцияның беріктік пен деформацияланғыштық талаптарына сай келетінін растайды. Ең төмен шөгу мәндері №2 полигондағы ТР-11 қадасы үшін 3,85 мм деңгейінде тіркелді, алайда бұл едәуір төмен жүктеме жағдайында алынған.

Нақты шөгу мәндерін нормативтік шекті көрсеткіштермен салыстыру. Қолданыстағы нормативтік құжаттардың (МЕМСТ 5686-2012) талаптарына сәйкес, статикалық сынақтар кезінде жеке қадалардың рұқсат етілетін шөгуі, әдетте, ғимараттың түріне және іргетастың есептік сұлбасына байланысты 20-40 мм аралығында болады.

Сынақтар нәтижесінде алынған нақты шөгу мәндері нормативтік шекті мәндерден айтарлықтай төмен:

– 1047 кН жүктеме кезінде – 4,71 мм (№1 полигон);
– 801 кН жүктеме кезінде – 4,11 мм (№2 полигон).

Бұл қадалардың деформацияланудың серпімді сатысы шегінде жұмыс істейтінін және деформацияға қатысты елеулі қордың бар екенін көрсетеді.

Қадалардың шекті көтергіштік қабілетін анықтау. Екі қада үшін де шекті жүктеме келесі көрсеткіштердің жиынтық талдауы негізінде қабылданды:

– «жүктеме-шөгу» қисықтарының сипаты;

– шөгудің үдемелі өсуінің болмауы;

– МЕМ 5686–2012 стандартымен белгіленген шөгу тұрақтану критерийінің (соңғы бір сағаттағы шөгу 0,1 мм-ден аспауы) орындалуы.

Қисықтарда айқын сынулар немесе шөгудің шексіз өсуіне көшу белгілері байқалмағандықтан, қадалардың көтергіштік қабілеті шекті шөгуге жету бойынша емес, деформациялардың тұрақтылығы жөніндегі нормативтік критерий бойынша анықталды. Қабылданған 1047 және 801 кН мәндері «қада–топырақ» жүйесінің орнықты жұмыс істеуі жағдайында қол жеткізілген ең жоғары сынақ жүктемелеріне сәйкес келеді.

Осылайша, далалық сынақтардың нәтижелері I типті шөгуге бейім топырақтар жағдайында С120.30-13 маркалы темірбетон қадалардың жоғары көтергіштік қабілетін растайды, сондай-ақ өзге тең жағдайларда алдын ала бұрғыланған ұңғымаларға орнатумен салыстырғанда қадаларды классикалық қағу әдісінің артықшылығын көрсетеді.

Қорытынды. Далалық сынақтардың нәтижелері С120.30-13 маркалы темірбетон қағылған қадалардың I типті шөгуге бейім топырақтар жағдайында жоғары көтергіштік қабілетке ие екенін және сенімді пайдалану сипаттамаларын көрсететінін дәлелдеді. Шекті жүктеме әсерінде алынған шөгу мәндері рұқсат етілген нормативтік шектерге сәйкес келеді, бұл қадалы негіздің тиімді жұмыс істейтінін көрсетеді. Жүргізілген салыстырмалы талдау алдын ала негізді дайындау және нормативтік құжаттарда көзделген технологиялық талаптарды қатаң сақтау жағдайында, шөгуге бейім топырақтар бар күрделі инженерлік-геологиялық аймақтарда ғимараттар мен құрылыстарды салу кезінде қадаларды қағу технологиясын қолданудың орынды әрі тиімді екенін растайды.

Әдебиеттер тізімі

1. Havryliuk O., Kashoida O., Zhuk V. Modelyuvannya vzayemodiyi pali z gruntovym seredovyshchem z vykorystannyam nelineynoyi matematychnoyi modeli z modifikovanym kryteriyem mitsnosti Kulona-Mora [Simulation of pile-soil interaction using a nonlinear mathematical model with a modified Mohr–Coulomb strength criterion] // Bases and Foundations. – 2024. – No. 49. – P. 43-54. https://doi.org/10.32347/0475-1132.49.2024.43-54.
2. Hussein M.H., Wayne A., Woerner II W.A., Sharp M., Hwang C. Pile driveability and bearing capacity in high-rebound soils //GeoCongress 2006: Geotechnical engineering in the information technology age. – 2006. – P. 1-4. https://doi.org/10.1061/40803(187)63.
3. Awwad T., Yenkebayev S.B., Tsigulyov D.V., Lukpanov R.E. Analysis of Driven Pile Bearing Capacity Results by Static and Dynamic Load Tests //International Congress and Exhibition “Sustainable Civil Infrastructures: Innovative Infrastructure Geotechnology”. – Cham : Springer International Publishing, 2018. – P. 77-84.
4. Meyerhof G.G., Sastry V. Bearing capacity of piles in layered soils. Part 2. Sand overlying clay //Canadian Geotechnical Journal. – 1978. – Vol. 15. – No. 2. – P. 183-189. https://doi.org/10.1139/t78-018.
5. Zhussupbekov A., Zhukenova G., Morev I., Omarov A., Borgekova K. Geotechnical considerations of piling testing in problematical soils of West Kazakhstan // International Journal of GEOMATE. – 2018. – Vol. 15(47).

6. Zhusupbekov A., Lukpanov R., Omarov A. Experience in Applying Pile Static Testing Methods at the Expo 2017 Construction Site //Soil Mechanics & Foundation Engineering. – 2016. – Vol. 53. – No. 4. https://doi.org/10.1007/s11204-016-9394-4.
7. Zhussupbekov A., Omarov A. Geotechnical and construction considerations of pile foundations in problematical soils // Proceedings of the 8th Asian Young Geotechnical Engineers Conference (8AYGEC). – Astana, Kazakhstan, 2016. – P. 27-32.
8. GOST 5686-2012. Grunty. Metody polevykh ispytaniy svyami [Soils. Methods of field testing with piles]. – Introduced. 01.07.2013. – Moscow: Standartinform, 2014. – 47 p. [in Russian].
9. Zhussupbekov A.Zh., Omarov A., Yergen A., Borgekova K., Tleulenova G. Piling Designing, Installation and Testing on Problematical Soil Ground of Kazakhstan // Proceedings of the 50th Anniversary Symposium of the Southeast Asian Geotechnical Society. – 2017. – P. 77-80.
10. Baca M. Static Load Test interpretation methods of pile base capacity approximation for design of wind turbine deep foundation // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2020. – Vol. 1614. – P. 012020. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1614/1/012020.

Материал редакцияға 02.09.25 түсті, 03.03.26 қабылданды.

Г.А. Жаирбаева[1], А.Ж. Жусупбеков[1], Н.У. Шакирова[1], А.С. Мукашева[1], Г.Т. Тлеуленова[1]

[1]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ЗАБИВНЫХ СВАЙ В УСЛОВИЯХ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ I ТИПА

Аннотация. В статье рассмотрены результаты полевых испытаний забивных свай на просадочных грунтах I типа, проведённых на строительной площадке ремонтно-механической мастерской строящегося завода. Целью испытаний была определена несущая способность забивных свай при вертикальной статической вдавливающей нагрузке в условиях просадочных грунтов. Статические испытания выполнены согласно требованиям ГОСТ 5686-2012. Перед нагружением проведено предварительное замачивание основания на глубину 3,8 м с целью водонасыщения просадочного грунта. В рамках изысканий проведены лабораторные испытания образцов для определения физико-механических характеристик, а также построены графики зависимости осадки от нагрузки и времени. По результатам испытаний установлено, что забивные сваи марки С120.30-13 продемонстрировали высокую несущую способность (до 1083 кН) при минимальных осадках (до 4,7 мм), что подтверждает их эффективность при строительстве в сложных инженерно-геологических условиях.

Ключевые слова: просадочный грунт, забивная свая, статические испытания, несущая способность.

G.A. Zhairbayeva[1], A.Zh. Zhussupbekov[1], N.U. Shakirova[1], A.S. Mukasheva[1], G.T. Tleulenova[1]

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

STATIC TESTS OF DRIVEN PILES IN SUBSIDENCE SOIL CONDITIONS OF TYPE I

Abstract. The article presents the results of field tests of driven piles on collapsible soils of Type I, conducted at the construction site of the repair and mechanical workshop of a plant under construction. The purpose of the tests was to determine the bearing capacity of driven piles under vertical static compressive load in conditions of collapsible soils. The static tests were performed in accordance with the requirements of GOST 5686-2012. Prior to loading, the foundation was pre-soaked to a depth of 3.8 m to achieve saturation of the collapsible soil. Within the framework of the study, laboratory tests of samples were carried out to determine their physico-mechanical characteristics, and graphs of settlement versus load and time were constructed. The test results showed that driven piles of the C120.30-13 grade demonstrated high bearing capacity (up to 1083 kN) with minimal settlements (up to 4.7 mm), confirming their effectiveness for construction under complex engineering and geological conditions.

Keywords: subsidence soil, driven pile, static tests, bearing capacity.

IRSTI 67.09.31

Zh.M. Omarov[1] – *main author*,
A.N. Zhakanov[2], K. Korniejenko[3],
S.K. Yessengabulov[4], Ye.B. Zharkenov[5]

©

[1,4,5]PhD, Associate Professor, [2]PhD student, [3]PhD, Professor

ORCID

[1]https://orcid.org/0000-0003-1108-9509 [2]https://orcid.org/0000-0002-8747-3788
[3]https://orcid.org/0000-0002-8265-3982 [4]https://orcid.org/0000-0002-2281-8132
[5]https://orcid.org/0000-0003-3392-574X

[1]Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan
[2,4,5]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
[3]Cracow University of Technology, Kraków,Poland

@ *[2]zhakanov888@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/PAEI5522

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE STRENGTH OF SLAG GEOPOLYMERS

Abstract. This review article discusses the dependence of the strength of geopolymers based on granulated blast furnace slag on the main technological and chemical-mineral factors. The analysis of the effect of calcium content, molar ratios (SiO_2/Al_2O_3, Na_2O/SiO_2, H_2O/Na_2O), hardening temperature, specific surface area of particles and the introduction of mineral additives on the formation of the structure and mechanical characteristics is carried out. Who showed that the strongest positive relationship is observed between the specific surface area of the slag and early strength ($r \approx 0.82$), as well as between the optimal alkalinity modulus Na_2O/SiO_2 and durability ($r \approx 0.78$). At the same time, excessive calcium content and exceeding the hardening temperature above 85°C correlate with the risk of microcracking ($r \approx -0.65$). The total results confirm that the regulation of alkaline activation and slag dispersion parameters allows controlling the processes of structure formation, ensuring both early and long-term strength. The presented conclusions can be used in the development of practical recommendations for the design of slag geopolymers for various climates and purposes.

Keywords: geopolymers, blast furnace slag, strength, alkaline activation, correlation analysis, durability.

Omarov Zh.M., Zhakanov A.N., Korniejenko K., Yessengabulov S.K., Zharkenov Ye.B. Influence of technological factors on the strength of slag geopolymers //Mechanics and Technology / Scientific journal. – 2026. – No.1(91). – P.243-258. https://doi.org/10.55956/PAEI5522

Introduction. Geopolymer materials based on granulated blast furnace slag are a promising and environmentally friendly alternative to traditional Portland cement [1]. Their advantages are high strength, durability and a significant reduction in the carbon footprint of production, which is achieved through the disposal of large-scale industrial waste from the metallurgical industry [2]. For Kazakhstan, which has a developed metallurgy and significant slag resources, the development of this area is especially relevant, as it allows solving the problems of resource

conservation, import substitution and transition to the principles of «green» construction [3].

A key property that determines the practical applicability of geopolymer binders is their strength, which is formed as a result of a complex interaction of chemical-mineralogical and technological factors [4]. Numerous studies have shown that six main groups of parameters have a decisive influence on the processes of structure formation and the resulting mechanical characteristics: 1) the calcium content (CaO) in the slag [5], 2) molar ratios of system components (SiO_2/Al_2O_3, Na_2O/SiO_2, H_2O/Na_2O) [6], 3) temperature and curing mode [7], 4) specific surface area (dispersion) of slag powder [8], 5) water-solid ratio [9], and 6) introduction of mineral additives (microsilica, fly ash, etc.) [10].

Correlation analysis of the literature data allows us to quantify the strength of the influence of these factors [11]. The slag specific surface area ($r \approx 0.82$) shows the highest positive relationship with early strength, which is explained by an increase in the reactivity of particles. A strong positive correlation is also observed between the optimal alkalinity modulus (Na_2O/SiO_2) and long-term strength ($r \approx 0.78$). At the same time, a negative correlation ($r \approx -0.65$) was found for risk factors such as excessive calcium content and exceeding the hardening temperature above 85°C, which is associated with intensification of shrinkage processes and microfracture formation.The strength of slag geopolymers is not a random variable, but a controllable parameter that depends on a set of interrelated variables. The purpose of this review is to systematize modern scientific data on the influence of key factors on the strength characteristics of GGBFS geopolymers, as well as to determine the optimal ranges of these parameters for the design of efficient and durable composites adapted to climatic and technological conditions of Kazakhstan.

Literature review. The calcium oxide (CaO) content of granular blast furnace slag is one of the most critical factors determining the kinetics of structure formation and the final strength of a geopolymer material. Studies show that calcium plays a dual role in the alkaline activation process. On the one hand, it accelerates hydration and promotes the intensive formation of hydrosilicates (C–S–H) and calcium hydroaluminosilicates (C–A–S–H), which form a dense and strong matrix. This is supported by a strong positive correlation ($r = 0.82$-0.87) between CaO content and early strength.On the other hand, excessive CaO content (over 45-50%) leads to a number of negative consequences. As can be seen from Figure 1, after reaching the optimum, the strength begins to decrease. This is due to the accelerated kinetics of reactions, which provokes increased shrinkage during hardening and, as a result, the development of a network of microcracks. In addition, in the long term, excess calcium can reduce the persistence of the material in corrosive sulfate environments due to the risk of secondary mineral formation, e.g., ettringite. Thus, to achieve a balance between high early strength and durability, it is recommended to maintain the CaO content of the slag in the range of 40-45%.

The content of calcium oxide (CaO) in granulated blast furnace slag is a key chemical and mineralogical factor that determines the reactivity of the raw material and the nature of the formed hydration products. Numerous studies demonstrate a nonlinear dependence of the strength of a geopolymer on the CaO content, which has a well-defined optimum.

Calcium participates in the formation of two main gel phases that make up the geopolymer matrix: calcium hydrosilicates (C–S–H) and calcium hydroaluminosilicates (C–A–S–H). These phases are analogues of Portland cement hydration products, but are formed under conditions of alkaline activation at room temperature or elevated temperature and have a different morphology and

composition (40-45%), a dense and strong gel matrix is rapidly formed, resulting in high early strength.

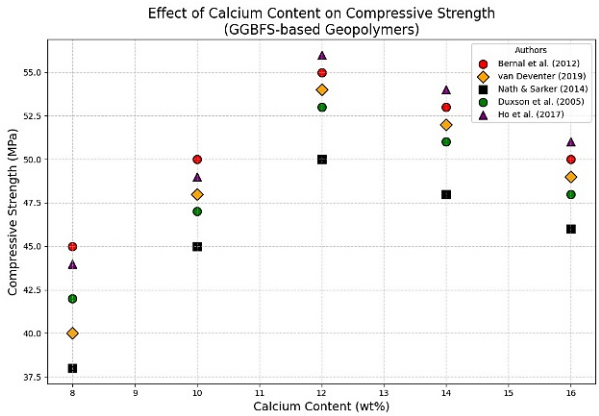


Fig. 1. Influence of calcium content on the strength of geopolymers based on blast furnace slag

Correlation analysis based on data from a number of studies revealed a strong positive relationship ($r \approx 0.82$-0.87) between CaO content and compressive strength at the age of 1-3 days. This confirms the role of calcium as a catalyst for hardening processes in the early stages.

Exceeding the optimal range (45-50%) leads to negative effects. First, the reaction rate increases dramatically, which causes significant shrinkage deformations and contributes to the development of microcracks. Second, with the long-term durability of the material in aggressive environments (e.g., sulfate), there is a risk of etringite and other secondary products that compromise the integrity of the structure. This is confirmed by the change in the nature of the correlation from positive to negative when the threshold value of the calcium content is crossed.

The calcium content of slag is a critical parameter that requires strict control. For the design of compositions with high indicators of both early and long-term strength, it is recommended to use slag with a CaO content in the range of 40-45%. This range provides a favorable balance between the kinetics of structure formation and the risk of matrix degradation.

Molar ratios of oxides in the activator-slag system are critical parameters governing the processes of dissolution, transport and polycondensation, which ultimately determine the microstructure and macroscopic properties of the geopolymer material. The key ratios extensively studied in the literature are SiO_2/Al_2O_3, Na_2O/SiO_2 (alkalinity modulus) and H_2O/Na_2O.

According to the classical theory of geopolymerization, in order to form a strong three-dimensional network, the optimal ratio of SiO_2/Al_2O_3 should be in the range of 3.5-4.5. Lower values lead to an excess of aluminum, which makes the structure rigid and brittle due to the high coordination of Al(IV, V). can slow down polycondensation and lead to the formation of a less uniform structure with increased porosity. Correlation analysis, shows a strong positive association ($r \approx 0.75$-0.80) of this parameter with long-term strength, highlighting its importance for the durability of the material.

The alkalinity modulus of the activator, defined as the ratio of Na_2O/SiO_2, directly affects the balance between the alkalinity of the solution, viscosity and

polycondensation capacity. Optimal values lie in the range of 0.25-0.35. As can be seen from (Fig. 2), there is a peak in strength in this range.

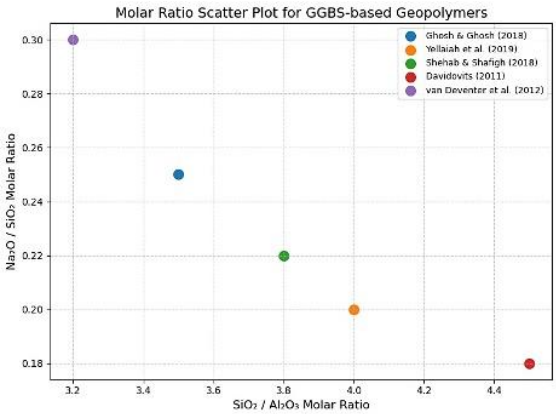


Fig. 2. Effect of the alkaline solution modulus (Na_2O/SiO_2) on the strength of geopolymers [author's material].

A low modulus value (0.25) indicates a high concentration of NaOH, which leads to excessively rapid dissolution of slag particles, but insufficient subsequent polycondensation due to a lack of silicate ions. This can cause fading and reduce the final strength [11]. A high modulus value (0.35), which is characteristic of water glass with a high SiO_2 content, significantly increases the viscosity of the activator, impairing the workability of the mixture and making it difficult to form a dense, homogeneous matrix. The correlation of this parameter with strength is nonlinear, with a positive trend ($r \approx 0.70$) in the optimal zone and a negative trend outside it.

A high H_2O/Na_2O value (0.60) refers to excess water in the system that is not consumed in hydration and polycondensation reactions and subsequently evaporates, leaving behind a capillary pore system. This is confirmed by the moderate negative correlation (r -0.60) of this parameter with strength. The optimal range is 0.50-0.60, which provides sufficient fluidity of the mixture for reactions without a significant increase in porosity.

Table 1

Influence of molar ratios on the properties of geopolymers

Correlation	Optimal range	Influence below the optimum	Influence above the optimum	Correlation (r) with Strength
SiO_2/Al_2O_3	3.5-4.5	Rigid, fragile structure	Delayed polycondensation, increased porosity	+0.75 – +0.80
Na_2O/SiO_2	0.25-0.35	Rapid dissolution, fading, insufficient polycondensation	High viscosity, poor sealing, increased shrinkage	Non-linear, up to +0.70
H_2O/Na_2O	0.50-0.60	Low workability, risk of underactivation	High capillary porosity, reduced strength	-0.55 – -0.60

Precise control of molar ratios is fundamental to controlling the geopolymerization process. Optimization of these parameters makes it possible to synthesize a material with specified properties in a targeted manner, minimizing

structural defects and maximizing strength and durability. The SiO_2/Al_2O_3 ratio contributes the most to strength, while water-related parameters (H_2O/Na_2O) have the strongest negative impact when deviating from the norm.

Temperature is a key technological factor that controls the kinetics of alkaline activation and hardening reactions of geopolymers based on blast furnace slag. Temperature optimization makes it possible to significantly accelerate the processes of structure formation without negatively affecting the final properties of the material.

An increase in temperature intensifies two main processes: the dissolution of glass-phase slag particles by an alkaline activator and the subsequent polycondensation of the formed aluminosilicate species into a three-dimensional gel structure. The activation energy of these processes decreases, which leads to a sharp increase in the rate of hydration and strength gain in the early stages.

Optimal temperature range. As shown in Figure 3, maximum efficiency is achieved in the temperature range of 60–80 °C. Under these conditions, up to 70-80% of the grade strength can be achieved after as little as 24 hours of curing [12]. Studies show a moderate positive correlation (r = 0.70-0.78) between temperature in this range and compressive strength.

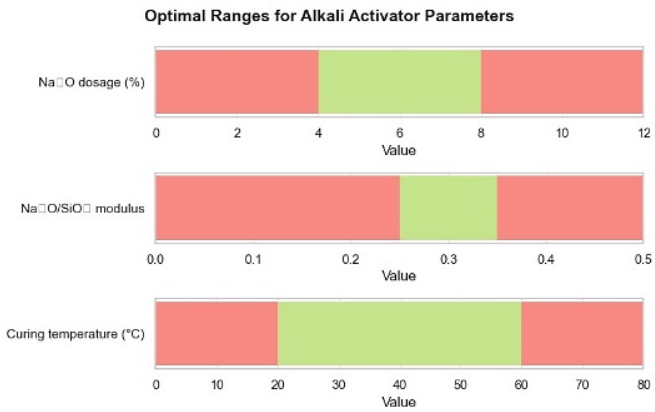


Fig. 3. Influence of hardening temperature on the strength of geopolymers

Exceeding temperatures above 85-90°C leads to a number of negative consequences:

1. The difference in the coefficients of thermal expansion of the gel phase and the unreacted filler particles causes significant internal stresses.
2. Excess water that did not participate in the reactions evaporates quickly, leaving behind large capillary pores and defects.
3. There is a partial destruction of weak links in the structure of C-A-S-H gels.

These processes manifest themselves as a network of microcracks (Fig. 4), as evidenced by the negative correlation (r–0.65) between temperatures above 85°C and strength/durability.

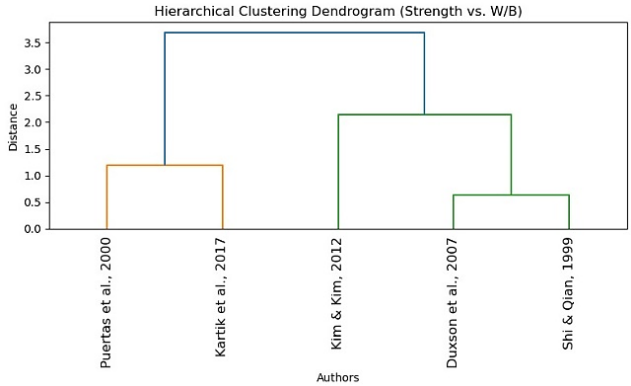


Fig. 4. Schematic representation of microcracking due to thermal shrinkage and vaporization at T 85°C

Based on the analysis of the literature, the following practical recommendations can be formulated:

Table 2

Recommended heat treatment modes

Purpose	Temperature	Duration	Notes
High early strength (after 24 h)	70-80 °C	18-24 hrs	Heating begins after the initial setting (after 2-4 hours at 20 °C)
Balance between the rate of strength gain and the risk of defect formation	60-70°C	24-48 hrs	The most versatile and secure mode
Hardening at low temperatures	40-50°C	48-72 hrs	It is used for solid structures to minimize shrink stresses
Isothermal Aging	80 ± 2°C	4-6 hours	Laboratory conditions to obtain reproducible results; Not recommended for thick products due to the risk of overheating of the inner layers

Temperature control allows you to effectively control the rate of strength gain of slag geopolymers. However, to prevent degradation of the microstructure, it is critically important not to exceed the upper temperature threshold (~85°C). In terms of performance and quality, the optimal temperature is gradual heating to 60-80°C, followed by a holding period of 24-48 hours. This mode ensures the rapid achievement of high strength with a minimum risk of microcracking, which is especially important for the industrial production of prestressed iron-geopolymer structures.

The water-solid ratio (W/S) is a critical process parameter that determines the rheology of the geopolymer mixture, the kinetics of structure formation, and, as a result, the density and strength of the final product. This factor directly affects the porosity of the matrix, since all water that has not entered into chemical reactions of hydration and polycondensation subsequently evaporates, forming a pore space.

The water-solid ratio determines the initial concentration of the solid phase in the mixture. At low W/S values (0.28), the system has insufficient workability, which makes it difficult to compact and leads to the formation of defects [25]. At high values (0.35), excess free water leads to the formation of a developed capillary

pore system after its evaporation, which significantly reduces strength. Figure 4, the maximum strength indicators are achieved in a narrow optimum.

Numerous studies establish the optimal B/T range for slag geopolymers of 0.28-0.35. Under these conditions, the following is ensured: Sufficient workability of the mixture for effective compaction.Minimum volume of capillary porosity (pores of 50 nm).

Correlation analysis shows a pronounced negative linear relationship (r ≈ -0.50...-0.58) between the W/S value and the compressive strength outside the optimal range. Each increase in W/S by 0.01 over 0.35 can lead to a 3-5% decrease in strength.

The water-solid ratio is closely related to the specific surface area of the slag and the composition of the activator:Increasing the specific surface area of the slag increases the water demand of the mixture, which requires an upward adjustment of the W/S to preserve the rheology.

The use of highly concentrated activators (e.g., NaOH 10-12M) can increase the viscosity of the system, which also necessitates I/T optimization to achieve the required workability [13].

Table 3

Influence of water-solid ratio on the properties of geopolymer composite

W/S Range	Effects on workability	Effects on porosity	Correlation with strength (r)
0.28	Unsatisfactory, harsh mixture	Low, but seal defects may occur	Slightly negative
0.28-0.35	Optimal	Minimum capillary porosity (15%)	Weakly Positive / Neutral
0.35	High, the mixture separates	High capillary porosity (25%), reduced durability	Strongly negative (to -0.58)
W/S Range	Effects on workability	Effects on porosity	Correlation with strength (r)

The water-solid ratio is a key parameter that determines the formation of a dense microstructure with minimal defects. To achieve high strength and deformation characteristics, it is necessary to strictly control the high-voltage in the optimal range of 0.28-0.35. The strong negative correlation established confirms the critical importance of minimizing excess water in the system. This parameter requires comprehensive consideration together with the dispersion of slag and the chemical composition of the activator when designing geopolymer concrete formulations for critical structures in Kazakhstan.

The specific surface area of granulated blast furnace slag is a critical parameter that determines its reactivity in the process of alkaline activation. This factor directly affects the kinetics of the dissolution of the solid phase, the rate of formation of gel products and, as a result, the rate of strength gain and the microstructure of the matrix.

This leads to an exponential increase in the contact area between the solid phase and the alkaline activator, which significantly accelerates the dissolution step of the aluminosilicate glass. As a result, the subsequent nucleation and growth processes of hydrate phases (C-A-S-H and N-A-S-H) are intensified, forming a dense and strong matrix.

As shown in Figure 5, there is a well-defined relationship between the specific surface area of the slag and the strength of the geopolymer. Studies [14] establish a technologically and economically feasible optimum in the range of 400-500 m²/kg.

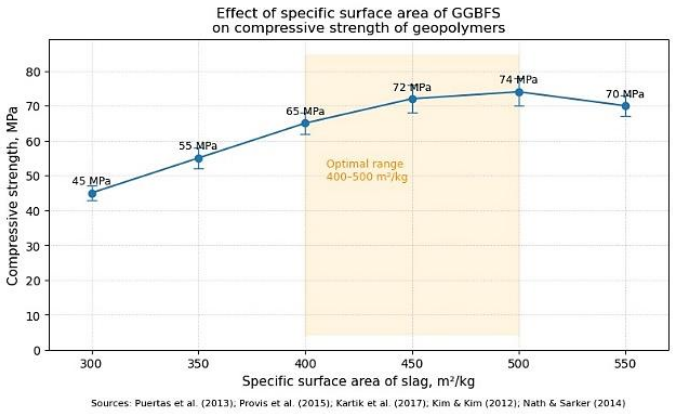


Fig. 5. Dependence of the strength of geopolymers on the specific surface of the slag

Correlation analysis shows a strong positive relationship (r = 0.65-0.72) between specific surface area in this range and compressive strength, especially in the early stages of curing (1-7 days). This confirms the key role of slag dispersion in high early strength.

Excessive increases in specific surface area above 550-600 m²/kg lead to a number of negative consequences [15]:

1. Fine particles have a large specific surface area, which requires more water for wetting and leads to an increase in W/S.
2. Accelerated hydration enhances the exothermic effect and can provoke thermal shrinkage and microcracking.
3. Energy consumption for ultra-fine grinding grows disproportionately to the strength gain.

Table 4

Influence of slag specific surface area on the properties of geopolymer composite

W/S Range	Effects on workability	Effects on porosity	Correlation with strength (r)	Suggested Use
0.28	Unsatisfactory, harsh mixture	Low, but seal defects may occur	Slightly negative	Requires the use of superplasticizers or modifying additives
0.28-0.35	Optimal	Minimum capillary porosity (15%)	Weakly Positive / Neutral	Universal range for most formulations
0.35	High, the mixture separates	High capillary porosity (25%), reduced durability	Strongly negative (to -0.58)	Unacceptable for structural products

Slag specific surface area is a powerful tool for controlling the kinetics of structure formation and strength characteristics of geopolymers. To achieve the optimal balance between high rates of strengthening, performance and cost-effectiveness, it is recommended to use slag with a specific surface area in the range of 400-500 m²/kg. Slag dispersion control should be carried out in conjunction with

optimization of the activator composition and water-solid ratio for the design of effective compositions of geopolymer concretes.

The introduction of modifying additives is an effective method of targeted correction of the structure and properties of geopolymer composites based on blast furnace slag. Additives allow controlling the rheological characteristics of the mixture, the processes of structure formation and the physical and mechanical properties of the hardened material.

Modifying additives used in geopolymers are divided into several main groups according to the mechanism of action:

1. Pozzolanic additives (microsilica, metakaolin, fly ash) are highly dispersed and reactive. They participate in the formation of an additional number of gel phases (C-A-S-H), which compact the matrix and reduce the volume of capillary porosity. Due to the filling effect, they improve the microstructure at the interface of phases.

2. Polymer dispersions and fibers (PP fibers, basalt fibers) increase the crack resistance, toughness, and flexural strength of the composite [16]. The fibers reinforce the matrix, redistributing stresses and preventing the development of shrinkage cracks.

3. Chemical modifiers (superplasticizers, retarders) regulate the rheological properties of mixtures and the kinetics of hardening, allowing you to optimize technological parameters without deteriorating physical and mechanical characteristics.

As shown in Figure 6, the introduction of optimal amounts of modifying additives results in a significant increase in the strength and durability of geopolymers.

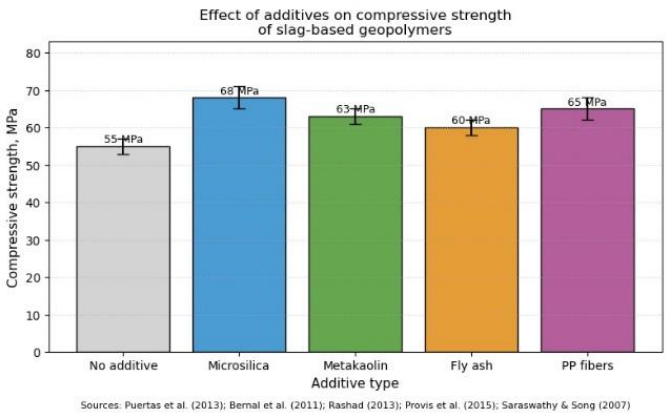


Fig. 6. Effect of additives on the strength of slag geopolymers

Correlation analysis shows a moderate positive association (r = 0.60–0.68) between the application of additives and strength enhancement [17]. The greatest efficacy is observed with the combined use of microsilica (5-10% of the mass of slag) to compact the matrix and polypropylene fibers (0.5-1.0%) to increase crack resistance[18].

The use of modifying additives is an effective tool for targeted correction of the properties of slag geopolymers. The established moderate positive correlation (r = 0.60-0.68) confirms the significant contribution of additives to the increase in strength and deformation characteristics. The greatest effect is achieved with the combined use of finely dispersed mineral additives (microsilica, metakaolin) for

compacting the matrix and fiber reinforcement (PP, basalt fibers) to increase crack resistance. Optimization of the composition and amount of additives makes it possible to create geopolymer materials with specified properties for various operating conditions in the construction practice of Kazakhstan.

Table 5

Influence of mineral and organic additives on the properties of geopolymer composite

Additive Type	Recommended content, % of binder weight	Main effect	Impact on strength	Correlation with strength (r)
Microsilica	5-10	Thickening of the matrix, reduction of porosity	15-25% increase in compressive strength	0.60-0.65
Metakaolin	10-20	Acceleration of structure formation, increase in acid resistance	10-20% increase in compressive strength	0.55-0.60
Fly ash	15-30	Improved workability, reduced water requirements	Increase in compressive strength by 5-15%	0.50-0.55
PP fibers	0.5-1.0	Increase in crack resistance, toughness	20-40% increase in flexural strength	0.60-0.68
Basalt fibers	1.0-2.0	Increase in tensile and flexural strength, heat resistance	Increase in flexural strength by 25-45%	0.65-0.70

An integral assessment of the mutual influence of key factors on the strength characteristics of geopolymers based on blast furnace slag was carried out by methods of statistical correlation analysis of data from numerous experimental studies [19]. The results of the analysis are presented in the form of a correlation matrix (Fig. 2) and a summary table (Table 7).

Correlation analysis allows you to visualize the strength and direction of the connections between various technological parameters and the strength of geopolymers.

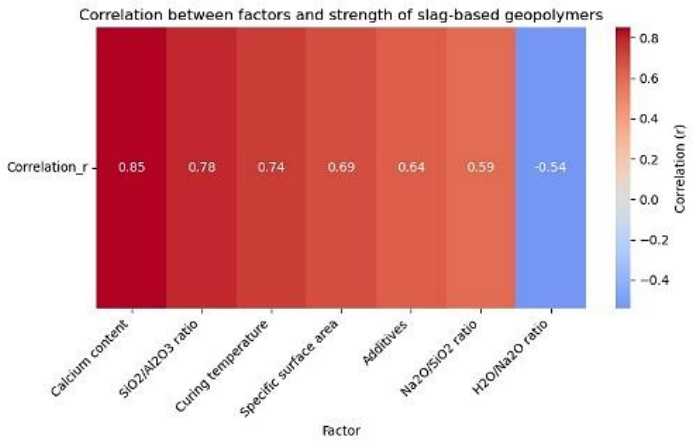


Fig. 7. Correlation dependencies of factors and strength of geopolymers based on blast furnace slag

In the matrix (Fig. 7), red shades indicate a positive correlation, blue shades indicate a negative correlation. The intensity of the color corresponds to the strength of the bond. The analysis shows the strongest positive relationships between strength and calcium content ($r \approx 0.82$-0.87) as well as the SiO_2/Al_2O_3 ratio ($r \approx 0.75$-0.80).

Table 6

Correlation between main factors and strength

Factor	Correlation coefficient (r)	Nature of the relationship
Ca content	0.82-0.87	Strong positive
SiO_2/Al_2O_3 ratio	0.75-0.80	Strong positive
Hardening temperature	0.70-0.78	Moderate positive
Specific surface area of slag	0.65-0.72	Moderate positive
Additives (microsilica, ash, etc.)	0.60-0.68	Moderate positive
Na_2O/SiO_2 (alkalinity modulus)	0.55-0.63	Moderate, non-linear
H_2O/Na_2O	0.50-0.58	Negative

The analysis revealed that the calcium content ($r = 0.82$-0.87) and the SiO_2/Al_2O_3 ratio ($r=0.75$-0.80) have the greatest impact on the strength of geopolymers, which confirms the key role of these factors in the formation of a strong gel matrix of the C-(A)-S-H and N-A-S-H types.

The analysis demonstrates that the cumulative impact of factors can be expressed through a multidimensional dependence. The greatest contribution to strength is made by the parameters: Ca content and Na_2O/SiO_2 modulus, while they have a complex effect on the formation of microstructure and the durability of geopolymers.

Correlation analysis confirmed the statistically significant influence of all seven factors on the strength of slag geopolymers. Established quantitative dependencies allow the development of optimized formulations with predictable properties. The greatest sensitivity of strength is observed to the calcium content and silica modulus, which requires special attention when controlling the chemical composition of raw materials. The results obtained are of great practical importance for the development of scientifically based recommendations for the design of geopolymer concrete compositions for construction in various climatic conditions of Kazakhstan.

Materials and methods. This study was carried out in the format of a systematic review using the methods of bibliometric and correlation analysis [20]. The search and selection of relevant scientific publications was carried out from January to March 2024 in the electronic databases Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink and Google Scholar.

The search strategy included the use of keywords and their combinations: «geopolymer», «alkali-activated materials», «GGBFS», «blast furnace slag», «compressive strength», «durability», «microstructure», «activation parameters». The search was limited to publications for the period 1999-2024, with the priority of research of the last decade [21].

Criteria for inclusion of publications in the analysis:

1. Availability of experimental data on the compressive strength of geopolymers based on GGBFS.
2. A complete description of the composition of raw materials and activation parameters.
3. Availability of data on hardening modes and experimental conditions.
4. Description of test methods (at least 3 samples per measurement point).

The analysis included studies containing quantitative data on the following groups of parameters [22]:

– chemical composition of GGBFS (content of CaO, SiO_2, Al_2O_3, MgO);

– alkaline activation parameters (NaOH concentration, water glass Na_2O/SiO_2 modulus, H_2O/Na_2O ratio);

– hardening modes (temperature, duration, humidity);

– Slag dispersion characteristics (specific surface area, granulometric composition);

– the type and amount of modifying additives [23];

– microstructural characteristics and porosity [24];

– durability indicators in aggressive environments [25].

To quantify the relationship between factors and strength, correlation analysis was used with the calculation of the Pearson correlation coefficient (r) for paired dependencies. The strength of the correlation was interpreted according to the generally accepted scale: |r| 0.3 – weak; 0.3 ≤ |r| 0.7 – moderate; |r| ≥ 0.7 – strong association.

A limitation of the method is the potential heterogeneity of data from different sources due to differences in test methods and experimental conditions. To minimize this impact, data and results were normalized across multiple sources.

Research results and discussion. The systematic analysis of the data of 47 studies made it possible to identify quantitative dependencies between the technological parameters of synthesis and the strength characteristics of geopolymers based on blast furnace slag. The results are presented in accordance with the factors under study.

The chemical composition of the slag had the most significant impact on strength. A strong positive correlation (r = 0.82-0.87) was found between the CaO content and early strength (1-3 days). As shown in Figure 1, the optimal range of CaO content is 40-45%, which ensures intensive formation of C-A-S-H gels. However, at a CaO content of 50%, there is a 15-20% decrease in strength due to the development of microcracks shrinkage.

The highest strength (up to 85 MPa) was achieved when using a combined activator: NaOH 8-10 M water glass with a modulus of SiO_2/Na_2O = 1.5-2.0. NaOH concentrations above 12 M resulted in a 10-15% decrease in strength due to excessively rapid setting and microcracking.

The curing temperature showed a non-linear effect on strength. Heat treatment at 60-80°C. for 24-48 hours provided the maximum effect, with a 40-60% increase in strength compared to isothermal hardening at 20° C. [18]. However, temperatures above 85° C. caused a 20-25% decrease in strength due to thermal shrinkage and degradation of the gel matrix [26].

The water-solid ratio (W/S) showed a strong negative correlation with strength (r = -0.58). An increase in W/S from 0.28 to 0.40 resulted in a 35-40% decrease in strength due to an increase in capillary porosity from 15% to 28% [27].

The specific surface area of the slag in the range of 400-500 m^2/kg provided an optimal balance between reactivity and water demand. Increasing the specific surface area from 350 to 500 m^2/kg increased strength by 25-30% [28]. Further increase to 600 m^2/kg was not economically feasible due to high energy consumption for grinding.

Mineral additives showed a moderate positive correlation with strength (r = 0.60-0.68). The introduction of 5-10% microsilica increased strength by 15-20% by

compacting the matrix and reducing porosity [29]. Polypropylene fibers (0.5-1.0%) increased flexural strength by 30-40% and crack resistance [30].

Correlation analysis revealed the complex nature of the influence of factors. The greatest contribution to strength was made by: CaO content (r = 0.87), SiO_2/Al_2O_3 ratio (r = 0.80) and specific slag surface (r = 0.72). Multivariate regression analysis made it possible to establish optimal parameter ranges to achieve a strength of 60 MPa: CaO content: 40-45%, SiO_2/Al_2O_3: 3.5-4.0, Na_2O/SiO_2: 0.25-0.30, W/S: 0.28-0.32, curing temperature: 60-80°C, specific surface area: 450-500 m^2/kg.

Discussion of the results obtained shows that the high strength of geopolymers is achieved due to the synergistic effect of the optimal chemical composition and technological parameters. The established correlation dependencies are consistent with the literature data on the mechanisms of structure formation. The practical significance of the work lies in the development of scientifically based recommendations for the design of compositions of geopolymer concretes with specified properties for construction in Kazakhstan.

Conclusion. On the basis of a systematic analysis of literature data and a correlation study, quantitative dependencies between the key synthesis factors and strength characteristics of geopolymers based on blast furnace slag were established. A strong positive correlation (r = 0.82-0.87) was established between the CaO content in the range of 40-45% and strength, which is due to the intensive formation of C-A-S-H gels. An excess of 50% CaO leads to a 15-20% decrease in strength due to the development of shrinkage microcracks. Alkaline activation parameters have a critical impact on the kinetics of structure formation. Optimal values are achieved by using a combined activator: NaOH 8-10 M water glass with a SiO_2/Na_2O = 1.5-2.0 module. A temperature range of 60-80°C for 24-48 hours provides a 40-60% increase in strength compared to isothermal hardening at 20°C. Exceeding the temperature above 85°C causes a 20-25% decrease in strength due to thermal shrinkage and destruction of the gel matrix. The optimal range W/T = 0.28-0.32 provides minimum capillary porosity (15-18%) and maximum strength. Increasing the specific surface area from 350 to 500 m^2/kg increases strength by 25-30%.Mineral additives show a moderate positive correlation with strength (r = 0.60-0.68). The introduction of 5-10% microsilica increases the strength of the matrix seal by 15-20%, and polypropylene fibers (0.5-1.0%) increase the flexural strength by 30-40%. The greatest contribution to strength is made by: CaO content (r = 0.87), SiO_2/Al_2O_3 ratio (r = 0.80) and specific slag surface area (r = 0.72). Optimal parameter ranges are established to achieve a strength of 60 MPa.

The results of the study confirm the prospects for the use of slag geopolymers as an environmentally friendly building material for Kazakhstan. The developed recommendations for optimizing synthesis parameters make it possible to design compositions with specified properties for various climatic conditions and applications.

References

1. Shi C., Qian J. High performance cementing material from industrial slags: a review // Resources, Conservation and Recycling. – 2000. – Vol. 29. – No. 3. – P. 195-207. https://doi.org/10.1016/S0921-3449(99)00060-9.
2. Nath S., Sarker P.K. Effect of GGBFS on setting, workability and early strength properties of fly ash geopolymer concrete cured in ambient condition // Construction and Building Materials. – 2014. – Vol. 66. – P. 163-171. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.080.

3. Shehab E.M., Shafigh P. Flexural strength of geopolymer concrete: a review // Construction and Building Materials. – 2018. – Vol. 186. – P. 635-652.
4. Bakharev T. Durability of geopolymer materials in sodium and magnesium sulfate solutions // Cement and Concrete Research. – 2005. – Vol. 35, No. 6. – P. 1233–1246. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.09.002.
5. Bernal S.A., Rodríguez E.D., de Gutiérrez R.M., Provis J.L. Performance of alkali-activated slag mortars exposed to acids // Journal of Sustainable Cement-Based Materials. – 2012. – Vol. 1, No. 3. – P. 138–151. https://doi.org/10.1080/21650373.2012.747235.
6. Bernal S., de Gutierrez R., Provis J., Rose V. Evolution of binder structure in sodium silicate-activated slag-metakaolin blends // Cement and Concrete Composites. – 2011. – Vol. 33, No. 1. – P. 46-54. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.09.004.
7. Davidovits J. Geopolymer Chemistry and Applications. 3rd ed. – Institute Geopolymere, 2011.
8. Duxson P., Provis J.L., Lukey G.C., van Deventer J.S. The role of inorganic polymer technology in the development of "green concrete" // Cement and Concrete Research. – 2007. – Vol. 37, No. 12. – P. 1590-1597. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.08.018.
9. Duxson P., Provis J.L., Lukey G.C., Mallicoat S.W., Kriven W.M., van Deventer J.S. Understanding the relationship between geopolymer composition, microstructure and mechanical properties // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2005. – Vol. 269, No. 1–3. – P. 47-58. https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2005.06.060.
10. Fernández-Jiménez A., Puertas F. Alkaline activation of blast furnace slag: part I. Effect of curing conditions on the hydration products // Cement and Concrete Research. – 1999. – Vol. 29, No. 8. – P. 1313-1321.
11. Ghosh K., Ghosh P. Effect of variation of slag content on chemical, engineering and microstructural properties of thermally cured fly ash-slag based geopolymer composites //Rasayan J. Chem. – 2018. – Vol. 11. – No. 1. – C. 426-439.
12. He C., Jie J., Zhu M. Effect of slag content and activator dosage on properties of alkali-activated slag mortars // Construction and Building Materials. – 2014. – Vol. 71. – P. 210-217.
13. Ho M.T.N., Lim P.W.S., Ling L.C. Strength development of alkali-activated ground granulated blast furnace slag concrete // Journal of Building Engineering. – 2017. – Vol. 13. – P. 17-23.
14. Kartik A., Ramesh Kumar G., Karthik A. Durability studies on fly ash and GGBS-based geopolymer concrete // Advances in Concrete Construction. – 2017. – Vol. 5, No. 4. – P. 345-356.
15. Kim H.J., Kim Y.T. Effect of alkali-activated GGBS on mechanical properties and durability of fly ash-based geopolymer concrete // Construction and Building Materials. – 2012. – Vol. 36. – P. 512-519.
16. Komnitsas K., Zaharaki D. Geopolymerisation: a review and prospects for the minerals industry // Minerals Engineering. – 2007. – Vol. 20, No. 14. – P. 1261–1277. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2007.07.011.
17. Pacheco-Torgal R. Eco-efficient construction and building materials research under the EU Framework Programme Horizon 2020 // Construction and Building Materials. – 2014. – Vol. 51. – P. 151–162. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.058.
18. Provis J.L., van Deventer J.S. Alkali Activated Materials: State-of-the-Art Report, RILEM TC 224-AAM. – Springer, 2014.
19. Provis J.L., Bernal S.A., van Deventer J.S. Geopolymers and related alkali-activated materials // Annual Review of Materials Research. – 2014. – Vol. 44. – P. 299–327.
20. Puertas F., Martinez-Ramirez S., Alonso S., Vázquez T. Alkali-activated fly ash/slag cements: strength behaviour and hydration products // Cement and Concrete Research. – 2000. – Vol. 30, No. 10. – P. 1625–1632. https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00298-2.

21. Puertas F., Palacios M., Vázquez T., Gómez-Bolea A. Alkali-activated slag mortars reinforced with polypropylene fibres: effect of the fibre content and curing conditions // Cement and Concrete Composites. – 2013. – Vol. 36. – P. 31–38.
22. Rashad M. A comprehensive overview about the influence of different additives on the properties of alkali-activated slag: a guide for Civil Engineer // Construction and Building Materials. – 2013. – Vol. 47. – P. 29-55. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.04.011.
23. Saraswathy V., Song S. Corrosion performance of fly ash blended Portland pozzolana cement concrete // Corros. Rev. – 2006. – Vol. 24. – No. 1-2. – P. 87-122.
24. van Deventer J.S. Alkali-activated materials: yesterday, today and tomorrow // Resources, Conservation and Recycling. – 2019. – Vol. 144. – P. 218–223. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.028.
25. Yellaiah P., Ranganath R.V., Sharma A.K. Mechanical properties and durability of alkali-activated slag and fly ash based geopolymer concrete // Journal of Building Engineering. – 2019. – Vol. 23. – P. 395–405.
26. Yang F., Song H., Wang J., Sun D. Mechanical properties and microstructure of alkali-activated GGBS concrete // Construction and Building Materials. – 2017. – Vol. 157. – P. 601–611.
27. Zhang Z., Provis J.L., Reid A., Wang H. Fly ash-based geopolymers: the relationship between composition, pore structure and efflorescence // Cement and Concrete Research. – 2014. – Vol. 64. – P. 30-41. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2014.06.004.
28. Rakhimova N.R., Rakhimov R.Z. Shchelochnye vyazhushchie i rastvory na osnove domennogo shlaka i otkhodov krasnogo kirpicha [Alkali-activated cements and mortars based on blast furnace slag and red clay brick waste] // Construction and Building Materials. – 2019. – Vol. 201. – P. 363-372. [in Russian].
29. Kazanskaya L.F., Smirnova O.M. Tekhnologiya geopolimernykh betonov na osnove promyshlennykh otkhodov [Technology of geopolymer concretes based on industrial wastes] // Bulletin of the South Ural State University. Series: Construction and Architecture. – 2020. – Vol. 20, No. 2. – P. 14-23. [in Russian].
30. Ministry of Industry and Infrastructure Development of the Republic of Kazakhstan. On approval of the Concept for the development of the construction industry and production of building materials in the Republic of Kazakhstan for 2021–2025 [Electronic resource]. – Access mode: https://www.gov.kz/documents

This research is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR21882278 "Creation of a construction and technical engineering center for the provision of a full cycle of accredited services in the construction, road construction sector of the Republic of Kazakhstan").

Received: 07 September 2025
Accepted: 26 December 2025

Ж.М. Омаров[1], А.Н. Жаканов[2], К. Кониеженко[3], С.К. Есенгабулов[2], Е.Б. Жаркенов[2]

[1]Торайғыров университеті, Павлодар, Қазақстан
[2]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан
[3]Краков технологиялық университеті, Краков, Польша

ҚОЖ ГЕОПОЛИМЕРЛЕРІНІҢ БЕРІКТІГІНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ФАКТОРЛАРДЫҢ ӘСЕРІ

Аңдатпа. Бұл шолу мақаласында түйіршіктелген домна пешінің қожына негізделген геополимерлердің беріктігінің негізгі технологиялық және химиялық-минералдық факторларға тәуелділігі талқыланады.Кальций құрамының әсерін талдау, молярлық арақатынас (SiO_2/Al_2O_3, Na_2O/SiO_2, H_2O/Na_2O), қатаю температурасы,

бөлшектердің нақты беткі ауданы және құрылымы мен механикалық сипаттамаларының түзілуі бойынша минералды қоспаларды енгізу жүзеге асырылады. шлактың нақты беткі ауданы мен ерте беріктігі (r ≈ 0,82), сондай-ақ оңтайлы сілтілік модулі Na_2O/SiO_2 мен беріктік (r ≈ 0,78) арасында байқалатынын кім көрсетті. Бұл ретте кальцийдің шамадан тыс мөлшері және 85°C-тан жоғары қатаю температурасы микрокрекинг қаупімен сәйкес келеді (r ≈ -0,65). Қорытынды нәтижелер сілтілік активтену мен қожды дисперсиялау параметрлерінің реттелуі құрылымның қалыптасу процестерін бақылауға, ерте де, ұзақ уақыт беріктігін де қамтамасыз етуге мүмкіндік беретінін растайды. Ұсынылған қорытындылар қож геополимерлерін әртүрлі климаттар мен мақсаттар үшін жобалау жөніндегі практикалық ұсынымдарды әзірлеу кезінде пайдаланылуы мүмкін.

Тірек сөздер: геополимерлер, домна пешінің қожы, беріктік, сілтілік активтену, корреляциялық талдау, беріктік.

Ж.М. Омаров[1], А.Н. Жаканов[2], К. Кониеженко[3], С.К. Есенгабулов[2], Е.Б. Жаркенов[2]

[1]Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан
[2]Евразийский Национальный Университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
[3]Краковский технологический университет, Краков, Польша

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОЧНОСТЬ ШЛАКОВЫХ ГЕОПОЛИМЕРОВ

Аннотация. В данной обзорной статье рассматривается зависимость прочности геополимеров на основе гранулированного доменного шлака от основных технологических и химико-минеральных факторов. Проведён анализ влияния содержания кальция, молярных соотношений (SiO_2/Al_2O_3, Na_2O/SiO_2, H_2O/Na_2O), температуры твердения, удельной поверхности частиц и введения минеральных добавок на формирование структуры и механические характеристики. На основе литературных данных выполнен корреляционный анализ, показавший, что наиболее сильная положительная связь наблюдается между удельной поверхностью шлака и ранней прочностью (r ≈ 0.82), а также между оптимальным модулем щёлочности Na_2O/SiO_2 и долговечностью (r ≈ 0.78). В то же время чрезмерное содержание кальция и превышение температуры твердения выше 85°C коррелируют с риском микротрещинообразования (r ≈ -0.65). Суммарные результаты подтверждают, что регулирование параметров щелочной активации и дисперсности шлака позволяет управлять процессами структурообразования, обеспечивая как раннюю, так и долговременную прочность. Представленные выводы могут быть использованы при разработке практических рекомендаций по проектированию шлаковых геополимеров для условий различного климата и назначения.

Ключевые слова: геополимеры, доменный шлак, прочность, щелочная активация, корреляционный анализ, долговечность.

МРНТИ 67.21.17

Ю.Л. Винников[1] – *основной автор*,
Н.А. Косточка[2]

©

[1]*Д-р техн. наук, профессор,* [2]*Аспирант*

[1]*https://orcid.org/0000-0003-2164-9936*

[1,2]*Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка, Полтава, Украина*

[1]*y.vinnykov@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/FKOP7210

ВЛИЯНИЕ МАКРОПОРИСТОСТИ НА СЖИМАЕМОСТЬ ГРУНТА

Аннотация. Проанализировано влияние макропористости грунта на сжимаемость основания. Представлены результаты испытаний образцов, по которым установлено, что увеличение неоднородности пористости (диапазона геометрических размеров пор) грунта при одинаковых значениях его коэффициента пористости и влажности вызывает увеличение сжимаемости массива.

Ключевые слова: лессовый грунт, макропористость, коэффициент пористости, сжимаемость грунта, относительная сжимаемость грунта.

Винников, Ю.Л. Влияние макропористости на сжимаемость грунта [Текст] / Ю.Л. Винников, Н.А. Косточка // Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №1(91). – С.259-267. https://doi.org/10.55956/FKOP7210

Введение. Из геотехнической практики известны многочисленные аварийные деформации зданий и сооружений на лессовых просадочных грунтах в Волгодонске, Душанбе, Запорожье, Никополе, Одессе, Херсоне и других городах [1-7]. Среди их главных причин – ошибки при проведении инженерно-геологических изысканий или анализе результатов исследований. Отметим, что по данным проф. В.И. Крутова [2] суммарные затраты на восстановление нормальной эксплуатации деформировавшихся объектов достигают 20-60% от стоимости строительно-монтажных работ.

Деформационные свойства дисперсных глинистых грунтов зависят не сколько от прочности отдельных твердых (минеральных) частиц, сколько от структурных особенностей грунтов, среди которых один из важнейших параметров – пористость. Структура грунта (или закономерное расположение различных по крупности и форме частиц) создает пористое строение грунта.

Для лессовых грунтов характерна макропористость [1-4,7-10]. Современные методы исследований не всегда позволяют установить объём макропор в единице объёма грунта природной структуры [8-10].

Структуру грунтов подразделяют на природную (ненарушенную) и нарушенную [8-10]. Нарушенная структура характерна для грунтов, у которых механическим способом (например, перемятием) повреждены естественные структурные связи между твердыми частицами. Такие грунты

сжимаются сильнее, чем грунты с естественной структурой при одинаковых значениях пористости и влажности.

В грунте естественной структуры объем пор различный по всему образцу (массиву), и обычно находиться в некотором интервале от микропор до макропор. Это объясняется природными процессами происхождения (генезиса) при эволюции конкретного грунта. Макропоры образовали корни растений, черви и т. д. [1-3,8-10]. Грунты нарушенной структуры, имеют более равномерную по объему образца пористость. Обычно определяют пористость грунтов, и сравнивают ее по средним величинам, без учета неравномерности распределения пор внутри образца (массива) грунта [10].

Сжимаемость грунта происходит за счет уменьшения их пористости. По изменению пористости образцов грунта от нагрузки при штамповых или компрессионных испытаниях [11] определяют характеристики сжимаемости массива. Если в грунтовом массиве неоднородность пористости (диапазон геометрических размеров пор) не оказывает существенного значения на его сжимаемость, то в небольшом образце грунта она может значительно влиять на его деформацию, а, следовательно, вносить погрешность при определении характеристик сжимаемости [8,9].

Отсюда цель настоящей работы – выяснить влияние макропористости на параметры сжимаемости грунта.

Материалы и методы исследований. Для выявления влияния макропористости на сжимаемость грунта были проведены испытания по компрессионному сжатию [11] отобранных в шурфе на глубине 2,0 м образцов суглинка лессового, тяжелого пылеватого с влажностью на границе текучести $W_L = 0{,}320$, влажностью на границе раскатывания $W_P = 0{,}222$, числом пластичности $I_P = 0{,}127$.

По результатам этих испытаний выполнялось сравнение показателей сжимаемости образцов грунта нарушенной структуры с различной макропористостью при разной влажности. Кроме того, выполнено сравнение показателей сжимаемости образцов нарушенной и природной структуры.

Сначала испытывали 12 образцов грунта естественной структуры, средняя влажность которого составляла $w = 0{,}178$, а средний начальный коэффициент пористости – $e_0 = 0{,}756$.

После компрессионных испытаний грунта естественной структуры, все образцы перетирали на терке для получения однородной массы. Затем из нее изготавливали образцы нарушенной структуры по следующей методике. Компрессионные кольца заполняли одинаковым количеством (по массе) грунта нарушенной структуры так, чтобы средний коэффициент пористости грунта в каждом образце составил $e_0 = 0{,}756$.

Далее в образце проделывали вертикальные канальца (макропоры) путем вдавливания в грунт проволоки диаметром 1 мм без изменения объёма грунта в кольце. В каждой группе из трех образцов делали по 10, 20, 30 канальцев, а в трех образцах канальцев не делали.

Таким образом получили 12 колец с грунтом одинаковой влажности $w = 0{,}172$ и одинаковым средним коэффициентом пористости $e_0 = 0{,}756$, но с разным объемом макропор (вертикальных канальцев) в каждой группе образцов.

После окончания испытаний грунт вновь перетирали, подсушивали и изготовляли новую партию образцов со средней влажностью $w = 0{,}128$, а затем и с влажностью $w = 0{,}085$.

Полученные по окончанию лабораторного эксперимента его результаты обрабатывались с использованием показателя сжимаемости грунта N_{pw} [12], который удобно определять в процентах по формуле (1)

$$N_{pw} = \frac{e_o - e_p}{e_o} \cdot 100\% = \frac{\Delta e_p}{e_0} \cdot 100\%, \qquad (1)$$

где: N_{pw} – показатель сжимаемости грунта при давлении p; e_0 – начальный коэффициент пористости грунта; Δe_p – уменьшение коэффициента пористости грунта после его сжимания давлением p.

Результаты исследований. Показатель сжимаемости грунта N_{pw} [12] отражает относительное изменение коэффициента пористости e при его сжимаемости от нагрузки. Сжимаемость зависит от пористости грунта и начального коэффициента пористости e_0. Поэтому, для того чтобы исключить влияние пористости отдельных образцов грунта на характеристику сжимаемости его величина определяется как относительное уменьшение коэффициента пористости при сжатии образца грунта. Показатель сжатия грунтового основания вычисляют как среднюю арифметическую величину.

Величины показателей сжимаемости грунта N_{pw} при различных значениях влажности и количестве канальцев (макропор) в образцах грунта приведены в таблице 1.

Таблица 1

Влияние макропористости образцов грунта на их сжимаемость

Давление p, МПа	Количество вертикальных канальцев n в образцах грунта нарушенной структуры	Значения показателя сжимаемости грунта N_{pw} при его разной влажности w, %			
		нарушенной структуры			природной структуры
		$w = 0{,}085$	$w = 0{,}128$	$w = 0{,}172$	$w = 0{,}178$
1	2	3	4	5	6
0,05	0	0,2	0,5	0,5	1,0
	10	0,5	0,5	0,5	
	20	0,5	0,5	1,0	
	30	0,5	0,5	1,0	
0,10	0	1,5	1,0	2,5	2,5
	10	1,0	1,5	2,5	
	20	1,4	1,5	3,0	
	30	1,0	1,0	2,0	
0,20	0	2,5	3,0	5,5	5,5
	10	2,0	3,0	5,0	
	20	2,5	2,5	6,5	
	30	1,5	2,5	7,0	

Продолжение таблицы 1

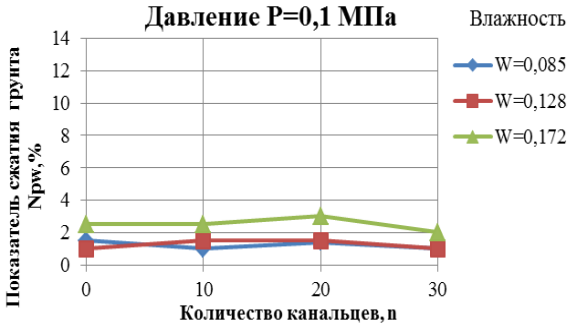
1	2	3	4	5	6
0,30	0	3,0	5,0	7,5	9,5
	10	3,5	5,0	9,0	
	20	3,0	5,0	13	
	30	2,5	4,5	12,5	

По данным таблицы 1 построены графики зависимости значений относительной сжимаемости грунта с различной макропористостью нарушенной структуры $N_{pw} = f(n)$ от его влажности w (см. рис. 1) и от давления в компрессионном приборе p (см рис. 2).

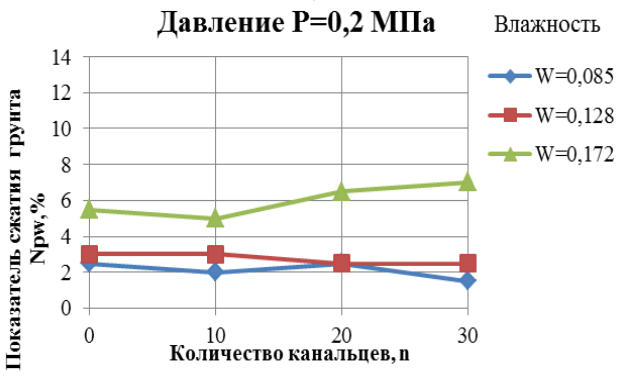
Из рисунка 1, в частности, видно, что при малых значениях влажности ($w = 0{,}085$ и $w = 0{,}128$) макропористость грунта практически не оказывает влияние на сжимаемость образцов. С приближением значения влажности грунта к границе его раскатывания ($w = 0{,}172$), увеличение макропористости повышает сжимаемость образцов, что наглядно видно из рисунка 1, в), г).

Однако такая закономерность прослеживается до определенной величины макропористости. В данном случае, из рисунка 1, г) видно, что при влажности $w = 0{,}172$ увеличение сжимаемости при $n > 20$ уже не происходит. Это указывает на то, что имеется граница максимального влияния макропористости на сжимаемость образцов грунта. Из рисунка 1 также, следует, что влияние макропористости на сжимаемость образцов грунта увеличивается с увеличение нагрузки (давления p).

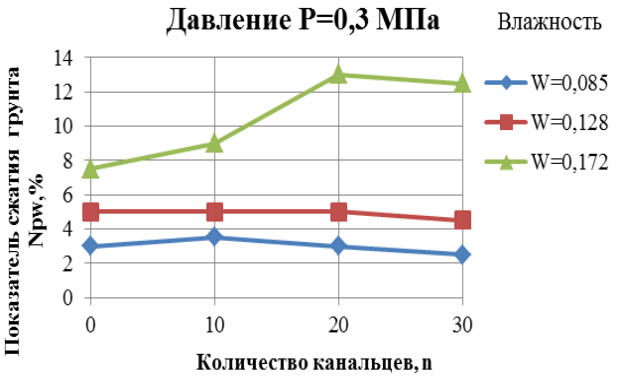
а)



б)



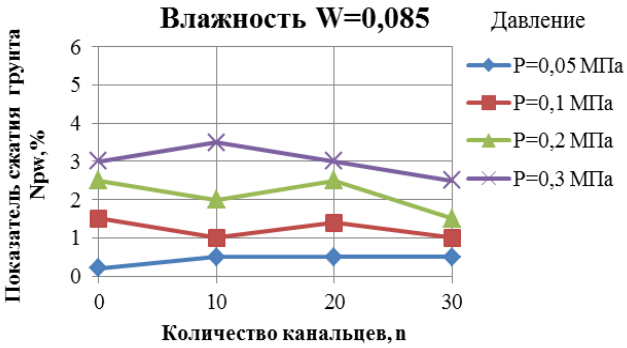
в)



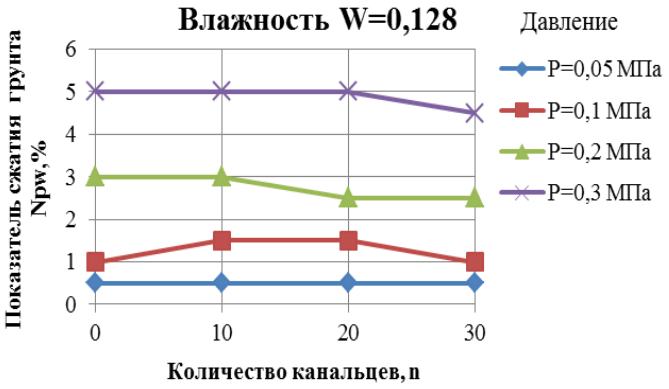
г)

а – графики зависимости $N_{pw} = f(n)$ при давлении $p = 0{,}05$ МПа; б – тоже при $p = 0{,}1$ МПа; в – тоже при $p = 0{,}2$ МПа; г – тоже при $p = 0{,}3$ МПа.

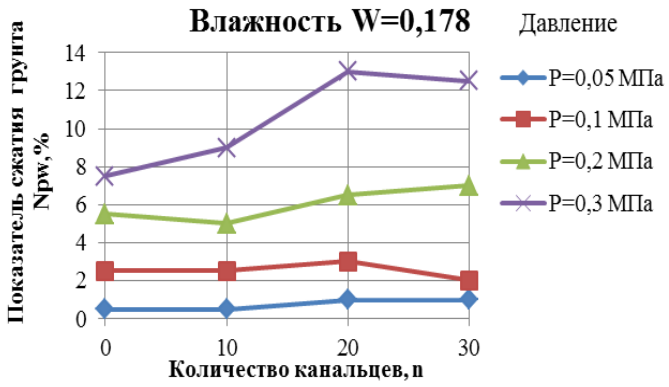
Рис. 1. Влияние макропористости на сжимаемость образцов грунта в зависимости от влажности w



а)



б)



в)

а – графики зависимости $N_{pw} = f(n)$ при влажности $w = 0{,}085$; б – тоже при $w = 0{,}128$; в – тоже при $w = 0{,}172$.

Рис. 2. Влияние макропористости на сжимаемость образцов грунта в зависимости от давления p

На рисунке 2 показаны графики влияния макропористости на сжимаемость образцов грунта при постоянной влажности $w = const$. Из рисунка 2, а), б) наглядно видно, что при влажности образцов грунта до $w = 0{,}128$ макропиристость практически не оказывает влияния на сжимаемость. С увеличением влажности до $w = 0{,}172$ (рис. 2, в) усиливается влияние макропористости на сжимаемость образцов грунта, а особенно с повышением нагрузки.

Заключение. Таким образом, из проведенного анализа можно сделать следующие выводы. При малых значениях давления и влажности макропористость образцов грунта практически не оказывает влияние на их сжимаемость. С увеличением влажности образцов грунта и прилагаемого к ним давления, макропористость грунта, до определенного предела (в настоящем исследовании – это 20 канальцев) оказывает существенное влияние на их сжимаемость.

Разброс величин показателя относительной сжимаемости N_{pw} отдельных образцов грунта ненарушенной структуры с увеличением ступени давления растет, что объясняется неоднородностью пористости в образцах лессового грунта.

Список литературы

1. Абелев, Ю.М. Основы проектирования и строительства на просадочных макропористых грунтах [Текст] / Ю.М. Абелев, М.Ю. Абелев. – М.: Стройиздат, 1979. – 271 с.
2. Крутов, В.И. Проектирование и устройство оснований и фундаментов на просадочных грунтах [Текст] / В.И. Крутов, А.С. Ковалев, В.А. Ковалев – М.: АСВ, 2012. – 560 с.
3. Основания и фундаменты в инженерно-геологических условиях юга Казахстана [Текст] / О.К. Югай, И.С. Бровко, В.А. Дубровский и др. – Шымкент: Ю-КТУ, 1997. – 175 с.
4. Shokarev V., Shapoval V., Tregub A., Grechko V., Shokarev A., Serdyuk A., Rozenvasser G., Kornienko M., Petrenko E., Zotsenko N., Vynnykov Y. Interaction of the artificial bases with Collapsing Soils // Geotechnical Engineering in Urban Environments. – Proc. of 14th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Madrid, 2007). – Millpress Science Publish. Rotterdam, 2007. – P. 481 – 486.
5. Кушнер, С.Г. Расчет деформаций оснований зданий и сооружений [Текст] / С.Г. Кушнер. – Запорожье: ООО «ИПО Запорожье», 2008. – 496 с.
6. Braja M. Das Shallow foundations. Bearing capacity and settlement. – CRC Press. Taylor & Francis Group, 2009. – 327 p.
7. Механіка ґрунтів. Основи та фундаменти. Підручник [Текст] / В.Б. Швець, І.П. Бойко, Ю.Л. Виннников, М.Л. Зоценко, О.О. Петраков, В.Г. Шаповал, С.В. Біда. – Дніпропетровськ: «Пороги» – 2012. – 196 с.
8. Сергеев, Е.М. Грунтоведение [Текст] / Е.М. Сергеев. – М.: МГУ, 1959. – 333 с.
9. Гольдштейн, М.Н. Механические свойства грунтов [Текст] / М.Н. Гольдштейн. – М.: Стройиздат. – Т.1. – 1971. – 368 с.; Т.2. – 1973. – 375 с.; Т.3. – 1979. – 304 с.
10. Денисов, Н.Я. Природа прочности и деформации грунтов [Текст] / Н.Я. Денисов. – М.: Стройиздат. – 1972. – 175 с.
11. ГОСТ 12248-96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – М.: МНТКС, 1996. – 56 с.
12. Винников, Ю.Л. Підвищення достовірності показників стисливості основи за даними компресійних випробувань ґрунтів [Текст] / Ю.Л. Винников, Н.А. Косточка // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. Вип. 27. – Рівне: НУВГП, 2013. – С. 407 – 414.

Материал поступил в редакцию 14.03.26, принят 27.03.26.

Ю.Л. Винников[1], Н.А. Косточка[1]

[1]Юрий Кондратюк атындағы Полтава ұлттық техникалық университеті, Полтава, Украина

МАКРОКЕУЕКТІЛІКТІҢ ТОПЫРАҚТЫҢ СЫҒЫЛУЫНА ӘСЕРІ

Аңдатпа. Жұмыста топырақ макрокеуектілігінің сығылу негізіне әсері талданды. Сынақ үлгілерінің нәтижелері ұсынылды, оған сәйкес топырақтың кеуектілік коэффициенті мен ылғалдылығының тең мәндерінде кеуектілігінің

(кеуектердің геометриялық өлшемдерінің диапазоны) гетерогенділігінің артуы массивтің сығылуын арттыратыны анықталды.

Тірек сөздер: лесс топырақ, макрокеуектілік, бос қатынасы, топырақтың сығылуы, топырақтың салыстырмалы сығылуы.

Y.L. Vynnykov[1], N.A. Kostochka[1]

[1]Poltava National Technical University named in honor of Yuri Kondratyuka , Poltava, Ukraine

THE IMPACT OF MACROPOROSITY TO SOILS COMPRESSIBILITY

Abstract. The influence of soil macroporosity on compressibility base is analyzed. Presents the results of the test samples according to which it is established that increase the heterogeneity of porosity (range of geometrical dimensions of the pores) soil at equal values of its porosity coefficient and humidity causes the increase of the compressibility of the array.

Keywords: loess soil, macroporosity, void ratio, soils compressibility, the relative compressibility of the soil.

References

1. Abelev Yu.M., Abelev M.Yu. Osnovy proyektirovaniya i stroitel'stva na prosadochnykh makroporistykh gruntakh [Fundamentals of Design and Construction on Subsidence Macroporous Soils]. - Moscow: Stroyizdat, 1979. - 271 p. [in Russian].
2. Krutov V.I., Kovalev A.S., Kovalev V.A. Proyektirovaniye i ustroystvo osnovaniy i fundamentov na prosadochnykh gruntakh [Design and Construction of Foundations and Bases on Subsidence Soils]. - Moscow: ASV, 2012. - 560 p. [in Russian].
3. Yugay O.K., Brovko I.S., Dubrovsky V.A., et al. Osnovaniya i fundamenty v inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh yuga Kazakhstana [Foundations and Bases in Engineering-Geological Conditions of Southern Kazakhstan]. - Shymkent: SKTU, 1997. - 175 p. [in Russian].
4. Shokarev V., Shapoval V., Tregub A., Grechko V., Shokarev A., Serdyuk A., Rozenvasser G., Kornienko M., Petrenko E., Zotsenko N., Vynnykov Y. Interaction of the artificial bases with collapsing soils // Geotechnical Engineering in Urban Environments. - Proc. of 14th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Madrid, 2007). - Millpress Science Publish. Rotterdam, 2007. - P. 481 - 486.
5. Kushner S.G. Raschet deformatsiy osnovaniy zdaniy i sooruzheniy [Calculation of deformations of foundations of buildings and structures]. - Zaporizhzhia: OOO "IPO Zaporizhzhia", 2008. - 496 p. [in Russian].
6. Braja M. Das Shallow foundations. Bearing capacity and settlement. – CRC Press. Taylor & Francis Group, 2009. – 327 p.
7. Shvets V.B., Boyko I.P., Vinnnikov Yu.L., Zotsenko M.L., Petrakov O.O., Shapoval V.G., Bida S.V. Mekhaníka ǧruntív. Osnovi ta fundamenti. Pídruchnik [Mechanics of soils. Lay down the foundations. Pidruchnik]. – Dnipropetrovsk: “Thresholds” – 2012. – 196 p. [in Ukranian].
8. Sergeev E.M. Gruntovedeniye [Soil science]. – Moscow: MSU, 1959. – 333 p. [in Russian].
9. Goldstein M.N. Mekhanicheskiye svoystva gruntov [Mechanical properties of soils]. – Moscow: Stroyizdat. – V.1. – 1971. – 368 p.; V.2. – 1973. – 375 p.; V.3. – 1979. – 304 p. [in Russian].

10. Denisov N.Ya. Priroda prochnosti i deformatsii gruntov [The Nature of Strength and Deformation of Soils]. – Moscow: Stroyizdat. – 1972. – 175 p. [in Russian].
11. GOST 12248-96. Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya kharakteristik prochnosti i deformiruyemosti [GOST 12248-96. Soils. Methods of Laboratory Determination of Strength and Deformability Characteristics]. – Moscow: MNTKS, 1996. – 56 p. [in Russian].
12. Vinnikov Yu.L., Bone N.A. Pídvishchennya dostovírností pokaznikív stislivostí osnovi za danimi kompresíynikh viprobuvan' ǧruntív [Improvements in the reliability of base elasticity indicators based on data from compression testing of soils] // Resource-saving materials, structures, materials and materials: Zb. Sci. Ave. Vip. 27. – Rivne: NUVGP, 2013. – P. 407 – 414. [in Ukranian].

ҒТАМР 67.09.91

Ж.Е. Ескермесов[1] – *негізгі автор*, ©
У.Б. Абдикерова[2], **Ж.Н. Тұрсынбек**[3]

[1,2]*PhD*, [3]*Магистрант*

ORCID [1]*https://orcid.org/0000-0001-6464-2748* [2]*https://orcid.org/0000-0002-1630-6229*
[3]*https://orcid.org/0009-0007-3185-6580*

[1,3]*Қазақ ұлттық су шаруашылығы және ирригация университеті, Тараз, Қазақстан*
[2]*Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан*

@ [1]*z.yeskermesov@kaznuvhi.edu.kz*

https://doi.org/10.55956/QRIS3331

3D БАСЫП ШЫҒАРУ ҮШІН РЕЗИНОБЕТОН ҚОСПАЛАРЫНЫҢ ҚҰРАМЫН ІРІКТЕУ

Аңдатпа. Мақалада пайдаланылған шиналардан алынған резеңке үгіндісін ұсақ толтырғыштың орнына қолдану арқылы өндірілген резеңкебетонның механикалық қасиеттерін анықтау бойынша жүргізілген зерттеу нәтижелері келтірілген. Әртүрлі мөлшердегі резеңке үгіндісі бар резеңкебетонның созылу беріктігі, иілу беріктігі, сонымен қатар үгінді өлшемі мен алдын ала өңдеу тәсілдерінің әсері жан-жақты қарастырылды. Резеңке үгіндісінің бетон беріктігіне әсер ету механизмдері талданды. Алынған нәтижелер айтарлықтай айырмашылықтарды көрсетті; атап айтқанда, резеңке мөлшері 0,0%-дан 20,0%-ға дейін артқанда, резеңке үгіндісі бар бетонның қысу беріктігі тиісінше 26,45 МПа-дан 14,8 МПа төмендеді. Сондай-ақ, зерттеу барысында резеңке үгіндісінің енгізілуіне байланысты бетон қуыстарының құрылымындағы өзгерістер оның механикалық қасиеттеріне елеулі әсер ететіні анықталды. Бұл жұмыс резеңкебетонды аналитикалық тұрғыдан бағалаудағы айтарлықтай олқылықтың орнын толтырып, оны орнықты құрылыс тәжірибесінде қолдануды ілгерілетуге жол ашады.

Тірек сөздер: резеңкебетон, беріктік, әсер ету механизмі, бетон, механикалық қасиет.

Ескермесов, Ж.Е. 3D басып шығару үшін резинобетон қоспаларының құрамын іріктеу [Мәтін] / Ж.Е. Ескермесов, У.Б. Абдикерова, Ж.Н. Тұрсынбек //Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.268-274. https://doi.org/10.55956/QRIS3331

Кіріспе. Соңғы жылдары көлік пен автомобиль саласының қарқынды дамуы экологиялық мәселелерді ушықтырғаны белгілі, бұған ең алдымен миллиардтаған тозған шиналардың жиналуы себеп болып отыр [1,2]. Бұл мәселені шешудің бір тиімді жолы – тозған шиналарды қажетті бөлшек өлшеміне дейін қайта өңдеп, олардан резеңкебетон өндіру [3,4]. Мұндай тәсіл тек шиналарды қайта пайдалануға мүмкіндік беріп қана қоймай, сонымен қатар резеңкебетонның беріктік теориясы мен практикалық инженерлік қолданылуына қатысты білім қорын толықтырады [5-7].

Резеңке үгіндісі қосылған резеңкебетонды алғаш қолдану жол жабындарын [8], көпір төсемдерін [9] және су шаруашылығы нысандарын

(мысалы, Қытайдың Хэнань провинциясындағы Хэкоу және Цяньпин су қоймалары) салуда айтарлықтай артықшылықтарды көрсетті. Оған беріктіктің артуы, жарықшаға төзімділік және динамикалық жүктемелерге шыдамдылық сияқты қасиеттер жатады [10]. Бұл резеңкебетонды бетондау жобаларында баламалы материал ретінде қолдануға болатынын дәлелдейді.

Резеңке үгіндісімен араластырылған бетон құрам мен өлшемдер дұрыс оңтайландырылған жағдайда эталондық бетонға қарағанда жоғары беріктікке, жарықшаға төзімділікке, ұзақмерзімділікке және динамикалық жүктемелерге шыдамдылыққа ие екендігі анықталған [11]. Бетонның кеуектік жүйесінің сипаттамалары резеңке бөлшектерінің өлшемі, мөлшері және араластыру әдістеріне байланысты өзгеріске ұшырайды [12].

Қазіргі зерттеулерде ұсынылған резеңкебетонның болжамдық моделі мен fcu төмендету коэффициенті [13] оны одан әрі зерттеу, жобалау және қолдануға маңызды негіз береді. Дегенмен бұл модельдерді әмбебап пайдалану мәселесі құрам, бөлшек өлшемі және алдын ала өңдеу әдістері сияқты факторлармен шектеледі. Сондықтан әртүрлі беріктіктер арасындағы сандық қатынастарды дәлірек анықтап, қанағаттанарлық модельдер әзірлеу үшін қосымша зерттеулер жүргізу аса маңызды.

Созылу беріктігі (fts), иілу беріктігі (ff) және серпімділік модулі (Ec) арасындағы ішкі байланысты анықтап, резеңкебетон беріктігін бағалауға эталондық бетон, ауа енгізгіш қоспасы бар бетон және алдын ала өңдеу әдістері әртүрлі резеңке үгінділері қосылған 39 түрлі резеңкебетон қоспасы дайындалды. Осы қоспалардың fts, ff және Ec көрсеткіштері бағаланып, резеңке мөлшері, бөлшек өлшемдері және алдын ала өңдеу әдістерінің әсері ескеріліп талданды.

Зерттеудің мақсаты – резеңкебетонның физикалық-механикалық сипаттамаларының резеңке мөлшеріне тәуелділігін, сондай-ақ домна шлагы мен микрокремнеземді шикізат ретінде қолданудың ықпалын анықтау.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Резеңкебетон үлгілерін жасау үшін мынадай шикізат материалдары және құрамдас бөліктер пайдаланылды:

1. Сульфатқа төзімді портландцемент (Ц): CCCEM I 32,5H (C_3A <3,5%), «Жамбыл-Цемент» зауыты, Тараз қ. (1-кесте);
2. Домна шлагы (ДШ) ТОО Alan Profit, Қарағанды қ.;
3. Құм (Қ): майда түйіршікті, фракциясы 0,315 мм;
4. Микрокремнезем (МК) «Tau-Ken Temir» ЖШС, Қарағанды қ.;
5. Суперпластификатор (SR226): Sika ViscoCrete® 226;
6. Резеңке үгіндісі (PY), фракциясы 0,1-1 мм.

Кесте 1

Қолданылған цементтердің минералогиялық құрамы

Цемент түрі	Минералогиялық құрамы, %				Сілтілік мөлшері, %
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	R_2O
ССПЦ400 DO (CC CEM I 32,5 H)	52,82	22,71	3,33	14,62	0,83

Толтырғыштар:

Домна шлагы (ДШ) – металлургия өнеркәсібінің қосалқы өнімі, майда толтырғыш ретінде пайдаланылды. Оның гидравликалық белсенділігі бар және ол беріктіктің артуына ықпал етеді.

Оның химиялық-физикалық сипаттамалары 2-кестеде берілген. Толтырғыштардың физикалық-механикалық сипаттамалары ГОСТ 8735, ГОСТ 26633, ГОСТ 8267, ГОСТ 8736 талаптарына сәйкес келеді.

Кесте 2

Домна шлагының қасиеттері

Көрсеткіш	Домендік шлакы
Химиялық құрамы, %	
SiO_2	36,3
Al_2O_3	12,6
Fe_2O_3	3,4
SO_3	5,7
K_2O	0,4
Na_2O	0,3
CaO	40,1
P_2O_5	–
Қыздыру кезіндегі массаның жоғалуы, %	1,2
Арнайы беткей ауданы, см²/г	0,37
Шынайы тығыздығы, г/см³	2,92
Көлемдік тығыздығы, кг/м³	1550
Су қажеттілігі, массаның %	145

Микрокремнезем (МК) – бетон мен цементке қоспа ретінде қолданылатын жоғары белсенді минералдық қоспа, ол жоғары маркалы, коррозияға төзімді бетондар алуға мүмкіндік береді, ГОСТ Р 56178-2014 талабына сай келеді.

Микрокремнезем – кремнийлі қорытпалар өндірісіндегі пеш газдарын тазалау барысында алынатын, сфера пішінді бөлшектерден тұратын ультра-дисперсті материал. Оның сипаттамалары 3-кестеде көрсетілген.

Кесте 3

Микрокремнеземнің химиялық-физикалық сипаттамалары

№	Көрсеткіш		Массалық үлесі, %
1	Натрий	Na_2O	0,25
2	Кремний	SiO_2	95,35
3	Калий	K_2O	0,61
4	Кальций	CaO	0,65
5	Жалпы күкірт	SO_3	0,20
6	Қыздыру кезіндегі массаның жоғалуы (1000°С)	ппп	2,13

Sika® ViscoCrete®-226 – поликарбоксилат негізіндегі жоғары тиімді суперпластификатор, құрғақ құрылыс қоспалары мен бетондар өндіруге арналған.

Су – ГОСТ 23732-2011 стандартына сәйкес пайдаланылды.

Қоспаларды дайындау әдістемесі. Зерттеу өлшемдері 100×100×100 мм бетон текше үлгілерінде және 40×40×160 мм балка үлгілерінде жүргізілді. Олар ГОСТ 10180-2012 талаптарына сай дайындалды (4-кесте). Зерттеудің бірінші кезеңінде бетон үлгілері дайындалды, ал екінші кезеңінде олардың физикалық-механикалық қасиеттері анықталды.

Үлгілерді дайындау әдістемесі келесідей болды: алдымен барлық құрғақ ұнтақ дисперсті материалдар араластырылды, кейін алынған қоспаға сұйылтылған қоспалар (пластификаторлар) ерітіндісі бар су қосылды. Қоспа

мұқият араластырылып, әр үлгі қалыптарға құйылып, бетон элементтері дайындалды.

Дайын бұйымдар қалыптан алынып, 7 және 28 тәуліктен кейін беріктікке сынақтан өткізілді.

Кесте 4

Құрамдық пропорциялар (цемент массасына қатысты)

Компонент	ДШ/Ц	МК	SR226/Ц	С/Ц
Мәні	0,29	0,218	0,0005	0,5

Тәжірибеде әртүрлі мөлшердегі резеңке ұнтағы бар бес композиция қолданылды: цемент массасының 0%, 0,5%, 10%, 15% және 20%. Толық мәліметтер 5-кестеде келтірілген.

Кесте 5

Бетон қоспаларының құрамы (кг/м³)

Құрам	РҮ	Ц	ДШ	МК	Қ	SR226
№1	0	800	225	175	762	4
№2	5%-38,1	800	225	175	573,9	4
№3	10%-76,2	800	225	175	539,8	4
№4	15%-114,3	800	225	175	497,7	4
№5	20%-152,4	800	225	175	459,6	4

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Дайындалған үлгілерді пайдаланып жүргізілген сынақ жұмыстарының нәтижесінде мынадай көрсеткіштер алынды:

– әрбір құрам үшін Вика аспабымен ине арқылы қату уақыты (ГОСТ 30744-2001);

– конустың батуымен анықталатын қозғалымдылық (ГОСТ 5802-86);

– 7 және 28 тәуліктегі қысу беріктігі (ГОСТ 30744-2001);

– 7 және 28 тәуліктегі иілу беріктігі (ГОСТ 30744-2001).

Сынақ жұмыстарының нәтижелері 6-кестеде келтірілген.

Кесте 6

Сынақ нәтижелері

№	%	7 тәулік беріктігі, МПа		28 тәулік беріктігі, МПа		Қозғалымдылық (мм)
		иілу	қысу	иілу	қысу	
1	0%	1,79	16,6	2,69	28,87	6,2
2	5%	1,34	19,01	2,01	28,22	6,5
3	10%	1,66	13,1	2,10	26,451	6,3
4	15%	1,78	10,22	3,07	15,08	5,6
5	20%	1,21	7,1	1,83	14,8	5,8

Иілу беріктігі резеңке ұнтағын қосқанда 7 тәулік кезінде:

– 5% кезінде иілу беріктігі төмендейді (1,34 МПа);

– 10% және 15% қосқанда – қайтадан өседі;

– 20% кезінде – ең төмен мән байқалады (1,21 МПа);

28 тәулік:

– Иілу беріктігі 15% резеңке үгіндісінде ең жоғары (3,07 МПа). Бұл резеңкенің серпімділігі арқасында иілуге қарсы тұру қабілеті жақсарғанын көрсетеді.

– 20% мөлшерінде көрсеткіш қайтадан төмендейді.

Қысу беріктігі 7 тәулік кезінде:

– 5% резеңкеде қысу беріктігі ең жоғары (19,01 МПа).

– 10-20% аралығында резеңке көбейген сайын қысу беріктігі айқын төмендейді.

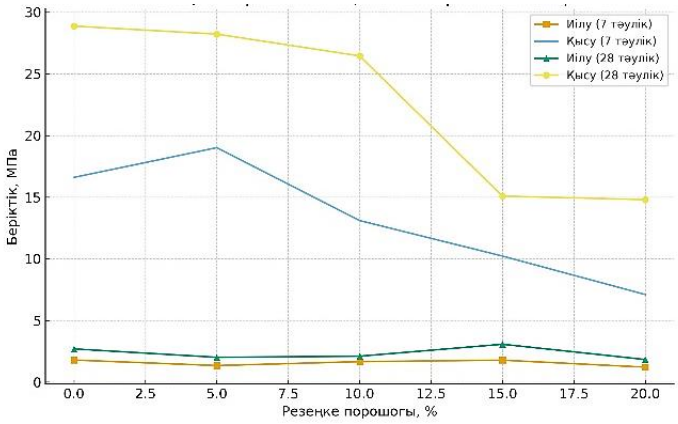
28 тәулік:

– Базалық бетон (0%) ең жоғары – 28,87 МПа.

– 5% резеңкеде айырмашылық аса үлкен емес (28,22 МПа).

– 10%, 15%, 20% резеңке мөлшерінен кейін қысу беріктігі айтарлықтай төмендейді (26,45 → 15,08 → 14,8 МПа).

Эксперимент нәтижесінде резеңке үгіндісінің мөлшерін өзгерту резеңкебетонның сипаттамаларына, әсіресе оның кеуектілік құрылымына, тығыздығына және механикалық беріктігіне айтарлықтай әсер ететіні анықталды (1-сурет).



Сурет 1. Резеңке үгіндісінің бетон беріктігіне әсері

Резеңке мөлшері артқан сайын үлгілердің тығыздығы төмендеу үрдісі байқалды. 5-10% резеңке үгіндісі қосылған жағдайда беріктіктің оңтайлы деңгейі байқалды. Ал резеңкенің мөлшері одан әрі артқан сайын беріктік күрт төмендеп, цемент матрицасының байланысы нашарлайтыны және макрокеуектер санының артатыны анықталды.

Қорытынды. Алынған деректерді талдау келесі қорытындылар жасауға мүмкіндік берді:

1) Резеңке үгіндісінің мөлшерін арттыру резеңкебетон қоспасының құрылымы мен қасиеттеріне айтарлықтай әсер етеді. №2 құрам 3D басып шығаруға қажетті барлық сипаттамаларға ие: 28 тәуліктен кейін қысу мен иілу беріктігі жоғары, қозғалымдылық пен салыстырмалы тығыздығы нормаларға сәйкес, қату уақыты да қабаттап төсеу технологиясына мүмкіндік береді.

2) Иілу беріктігі бойынша резеңке үгіндісінің оң әсері бар, бірақ оның тиімді мөлшері шамамен 10-15%. Резеңке үгіндісі қысу беріктігін төмендетеді. Тиімді минималды көлем – 5%, одан жоғары мөлшерде беріктік күрт нашарлайды.

3) Бетон қоспасының оңтайлы құрамы анықталды. Ұсынылған эксперименттік бетон қоспасы құрылыс саласындағы 3D басып шығаруда

қолдануға жарамды. Алынған нәтижелер құрамы келесі зерттеулерде қолданылатын болады.

4) Бұл шешім металлургия өнеркәсібінің қалдықтарын қайта өңдеу мәселесін шешіп, өңірдің экологиялық жағдайына оң әсер етуге ықпал жасайды.

Әдебиеттер тізімі

1. Pan L., Hao H., Cui J., Pham T.M. Numerical study on dynamic properties of rubberised concrete with different rubber contents // Def. Technol. – 2022. – Vol. 24. – P. 228-240.
2. Rincon L., Coma J., Perez G., Castell A., Boer D., Cabeza L.F. Environmental performance of recycled rubber as drainage layer in extensive green roofs. A comparative life cycle assessment // Build. Environ. – 2014. – Vol. 74. – P. 22-30.
3. Youssf O., Swilam A., Tahwia A.M. Performance of crumb rubber concrete made with high contents of heat pre-treated rubber and magnetized water // J. Mater. Res. Technol. – 2023. – Vol. 23. – P. 2160-2176.
4. Yadav S., Tiwari S. The impact of end-of-life tires on the mechanical properties of fine-grained soil: a review // Environ. Dev. Sustain. – 2019. – Vol. 21, No. 2. – P. 485-568.
5. Liu Y., Zhou R., Fireha A., Chen H., Wang W., Wang J. Numerical assessment of impact resistance of rubberized metaconcrete with the modified K&C model // J. Build. Eng. – 2025. – Vol. 101. – P. 111866.
6. Han X., Zhou S., Chen A., Feng L., Ji Y., Wang Z., Sun S., Li K., Xia X., Zhang Q. Analytical evaluation of stress–strain behavior of rubberized concrete incorporating waste tire crumb rubber // J. Clean. Prod. – 2024. – Vol. 450. – P. 141963.
7. Qaidi S.M.A., Dinkha Y.Z., Haido J.H., Ali M.H., Tayeh B.A. Engineering properties of sustainable green concrete incorporating eco-friendly aggregate of crumb rubber: a review // J. Clean. Prod. – 2021. – Vol. 324. – P. 129251.
8. Zhou W., Lu C., Yu Z., Mo J. Mechanical properties and pore structure characterization of crumb rubber concrete using equal size replacement method // J. Build. Eng. – 2025. – Vol. 102. – P. 112026.
9. Alasaif A., Albidah A. Production of rubberized concrete utilizing reclaimed asphalt pavement aggregates and recycled tire steel fibers // Structures. – 2024. – Vol. 68. – P. 107174.
10. Lashari A.R., Ali Y., Buller A.S., Memon N.A. Effects of partial replacement of fine aggregates with crumb rubber on skid resistance and mechanical properties of cement concrete pavements // Int. J. Pavement Eng. – 2022. – Vol. 24, No. 2. – P. 2077940.
11. Sun S., Han X., Chen A., Zhang Q., Wang Z., Li K. Experimental analysis and evaluation of the compressive strength of rubberized concrete during freeze–thaw cycles // Int. J. Concr. Struct. M. – 2023. – Vol. 17. – P. 28.
12. Dong J., Liu Y., Yuan S., Li K., Zhang F., Guan Z., Chai H., Wang Q. Mechanical behavior and impact resistance of rubberized concrete enhanced by basalt fiber-epoxy resin composite // Constr. Build. Mater. – 2024. – Vol. 435. – P. 136836
13. Alizadeh M., Eftekhar M.R., Asadi P., Mostofinejad D. Enhancing the mechanical properties of crumb rubber concrete through polypropylene mixing via a pre-mixing technique // Case Stud. Constr. Mat. – 2024. – Vol. 21. – P. e03569.

Зерттеу жұмыстары ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылған AP25795451 «Металлургия өнеркәсібі мен шиналар қалдықтарын қосу арқылы 3D-принтерде құйылған бетонның механикалық қасиеттерін зерттеу» жоба аясында орындалды.

Материал редакцияға 08.10.25 түсті, 10.12.25 қабылданды.

Ж.Е. Ескермесов[1], У.Б. Абдикерова[2], Ж.Н. Тұрсынбек[1]

[1]Казахский национальный университет водного хозяйства и ирригации, Тараз, Казахстан
[2]Кызылординский университет им. Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан

ПОДБОР СОСТАВОВ СМЕСЕЙ ИЗ РЕЗИНОБЕТОНА ДЛЯ 3D ПЕЧАТИ

Аннотация. В статье представлены результаты определения механических свойств резинобетона, полученного с использованием резиновой крошки из изношенных шин вместо мелкого заполнителя. Исследована прочность на растяжение и изгиб резинобетона с различным количеством резиновой крошки. Рассмотрены механизмы влияния резиновой крошки на прочность бетона. Результаты показали существенные различия: при увеличении содержания резины от 0,0% до 20,0% прочность на сжатие бетона с резиновой крошкой снизилась с 26,45 МПа до 14,8 МПа соответственно. Выявлено также, что изменения в структуре пустот бетона из-за введения резиновой крошки существенно влияют на его механические свойства. Результаты работы заполняют существенный пробел в аналитической оценке резинобетона, способствуя его использованию в практике устойчивого строительства.

Ключевые слова: резинобетон, сила, механизм воздействия, бетон, прочность.

Zh.E.Yeskermessov[1], U.B. Abdikerova[2], Zh.N. Tursynbek[1]

[1]Kazakh National University of Water Management and Irrigation, Taraz, Kazakhstan
[2]Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan

SELECTION OF RUBBER CONCRETE MIXES FOR 3D PRINTING

Abstract. This article presents the results of determining the mechanical properties of rubber concrete produced using crumb rubber from waste tires instead of fine aggregate. The tensile and flexural strength of rubber concrete with different amounts of crumb rubber were investigated. The mechanisms of crumb rubber influence on concrete strength were analyzed. The results showed significant differences: with an increase in rubber content from 0.0% to 20.0%, the compressive strength of rubber concrete decreased from 26.45 MPa to 14.8 MPa, respectively. It was also found that changes in the concrete void structure due to the introduction of crumb rubber significantly affect its mechanical properties. The results of this study fill an important gap in the analytical evaluation of rubber concrete, contributing to its application in sustainable construction practices.

Keywords: rubber concrete, force, mechanism of action, concrete, strength.

ҒТАМР 67.15.35

Л.Б. Аруова[1] – *негізгі автор*,
А.К. Тлеубаева[2], Л.А. Жаксылыкова[3], Д.Ж. Артықбаев[4]

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

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0002-7700-0303 [2]https://orcid.org/0000-0002-6741-780X [3]https://orcid.org/0000-0002-1869-9150 [4]https://orcid.org/0000-0003-4794-8707*

[1,2,3]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
[2]М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті, Шымкент, Қазақстан

@ *[4]artykbaev_d@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/NAVZ7958

3D-БАСПАҒА АРНАЛҒАН ӨНЕРКӘСІПТІК ҚАЛДЫҚТАРДАҒЫ ҰСАҚ ТҮЙІРШІКТІ ФИБРОБЕТОНДАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІ

Аңдатпа. Бұл жұмыста құрылыстық 3D-баспаға арналған тиімді ұсақ түйіршікті фибробетондарды әзірлеу бойынша зерттеу ұсынылған. Тұтқыр ретінде жартылай күлмен алмастырылған PC 400-D0 және PC 500-D0 маркалы портландцементтер пайдаланылды. Жарықшаға төзімділігін және иілгіштікті арттыру үшін құрамына полипропилен, полиэтилен және нейлон сияқты түрлі полимерлік талшықтар енгізілді. Зерттеудің мақсаты жоғары беріктілік сипаттамаларын сақтай отырып, қажетті ағымдылықты және пішін төзімділіктігін қамтамасыз ету үшін бетон қоспасының құрамын оңтайландыру болып табылады. Жүргізілген сынақтар реологиялық қасиеттерін, сығылу мен созылу беріктілігін, тығыздығы мен иілгіштіктік беріктілігін анықтауды қамтыды. Полипропилен талшықтарымен үйлесімде PC 500-D0 маркалы цементті қолдану сығылуға беріктілігі 50 МПа дейін арттыруды және созылуға беріктілігі бақылау құрамдарымен салыстырғанда 20%-ға дейін арттыруды қамтамасыз ететіні анықталды. Күлдің ұнтағын қосу цемент шығынын төмендетуге және қоспаның ыңғайлы орналасуын арттыруға мүмкіндік берді. Алынған нәтижелер құрылыс материалдарының беріктігін арттыруды және өзіндік құнын төмендетуді қамтамасыз ете отырып, құрылыстың аддитивті технологиялары үшін әзірленген қоспалардың перспективалылығын көрсетеді.

Тірек сөздер: 3D-баспа, фибробетон, портландцемент, күлдің ұнтағы, полипропилен талшықтары, беріктігі, төзімділігі.

Аруова, Л.Б. 3D-баспаға арналған өнеркәсіптік қалдықтардағы ұсақ түйіршікті фибробетондардың қасиеттері [Мәтін] / Л.Б. Аруова, А.К. Тлеубаева, Л.А. Жаксылыкова, Д.Ж. Артықбаев //Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.275-282. https://doi.org/10.55956/NAVZ7958

Кіріспе. Құрылыстық 3D-баспа технологияларын дамыту соңғы жылдары инновациялық құрылыстың басым бағыттарының біріне айналды. Аддитивті әдістерді қолдану нысандарды салу мерзімін айтарлықтай қысқартуға, материал сыйымдылығын және қалдықтар санын азайтуға, сондай-ақ конструкциялардың геометриялық пішіндерінің дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді. Технологиялық ілгерілеумен бір мезгілде реологиялық

тұрақтылықты, пішінге төзімділікті және қатайтудан кейінгі жоғары беріктікті үйлестіруге қабілетті 3D-баспаның ерекшеліктеріне бейімделген құрылыс материалдарын әзірлеу қажеттілігі туындайды.

Перспективалы шешімдердің бірі минералды және талшықты қоспалармен модификацияланған ұсақ түйіршікті фибробетондарды пайдалану болып табылады. Мұндай қоспалар жарылуға және иілгіштік деформацияларға төзімділікті қамтамасыз етіп қана қоймай, қабатты экструзия кезінде қабаттар арасындағы ілінісуді жақсартады. Соңғы жылдары көмірді жағу кезінде пайда болатын күлді қолдануға көп көңіл бөлінуде, ол тыңайтқыштарды жақсартады, су тұтынуды төмендетеді және өнеркәсіптік қалдықтарды қайта өңдеу есебінен орнықты құрылысқа ықпал етеді.

Құрылыстық 3D-баспа үшін фибробетондарды әзірлеу және қолдану мәселелерін соңғы жылдары әртүрлі ғылыми ұжымдар белсенді зерттеуде.

Nematollahi және басқалары [1] 3D-басып шығаруға арналған цемент қоспаларында полипропилен талшықтарын қолдану бойынша бірқатар эксперименттер жүргіздік және 0,25-0,5% талшықтар болғанда беріктік сипаттамалары жақсарады және экструзия кезінде материалдың қабатталу қаупі төмендейді. Zhu және басқалары [2] көрсеткендей цемент салмағының 20% -на дейінгі мөлшерде ұшпа күлді енгізуде иілгіштік беріктілітін арттырады және қатудың ерте мерзімінде шөгу жылдамдығын азайтады. Kazemian және басқалары [3] конструкциялардың қабаттық қалыптасу сапасын анықтайтын су-байланыстырғыш және тұтқырлық арақатынасын ескере отырып, қоспа құрамын таңдаудың маңыздылығын атап өтті. Ma және басқалары [4] арматуралаушы талшықтарды қолдану цемент элементтерін басу кезінде құрылымдық тұтастықты және қабатаралық адгезияны арттыратынын анықтады. Bos және басқалары [5] шүмек геометриясының және беру жылдамдығының басылған элементтердің қасиеттеріне әсерін зерттеді және қоспаның оңтайлы тұтқырлығы тұрақты экструзия үшін негізгі фактор болып табылатынын атап өтті. Le және басқалары [6] тиксотропия бойынша эксперименттік деректер негізінде құрамды іріктеу әдісін ұсынды, бұл нысандардың жоғары дәлдігіне қол жеткізуге және басып шығару кезінде деформацияларды азайтуға мүмкіндік берді. Nerella and Mechtcherine [7] талшықтар түрлерінің әсерін және олардың басылған бұйымдардың беріктілігіне бағдарлануын зерттеді және талшықтардың біркелкі таралуы жарылуға төзімділікті 25-30%-ға арттырады деген қорытындыға келді. Zareiyan and Khoshnevis [8] экструзия кезінде цемент матрицасы мен талшықтардың өзара әрекеттестігіне талдау жүргізді және синтетикалық талшықтарды қосу қабаттар арасындағы ілінісуді жақсартатынын көрсетті. Sanjayan және басқалары [9] күл ұнтағын белсенді минералды компонент ретінде пайдалану 3D-бетонды өндіру кезінде көміртегі ізін азайтады және бұйымдардың ұзақтығын арттырады. Lv және басқалары [10] белсенді минералды қоспалармен бірге синтетикалық талшықтарды қолдану иілгіштік деформацияларға қарсы тұруды арттыратынын және цемент тасының микроқұрылымын жақсартуға ықпал ететінін растады.

Сол себептен, әдеби дереккөздерді талдау 3D-басып шығару үшін фибробетондардың тиімділігі қоспа компоненттерін кешенді іріктеуге байланысты екенін көрсетеді. Қазіргі заманғы зерттеулер технологиялық және беріктілік сипаттамаларын арттыру үшін күлдің ұнтағын пен полимерлік талшықтарды қолданудың перспективалылығын растайды. Алайда, осы уақытқа дейін цементтің, күл ұнтағын және талшық түрлерінің әртүрлі комбинацияларының құрылыстық беріктілігіне және ұзақ

мерзімділігіне әсерін сипаттайтын эксперименттік деректердің жеткіліксіз. Сондықтан да осы зерттеу осы олқылықтың орнын толтыруға бағытталған.

Құрылыстық 3D-баспасының белсенді дамуына қарамастан, оңтайлы реологиялық қасиеттерін қатайтылғаннан кейін жоғары беріктікпен үйлестіретін қоспалардың құрамдарын іріктеу міндеті әлі күнге дейін шешілмеген мәселелердің бірі.

Дәстүрлі цемент ерітінділері иілгіштіктің жеткіліксіздігімен, жарылуға бейімділігімен және едәуір шөгуімен сипатталады, бұл олардың аддитивті технологияларда қолданылуын шектейді. Күлді және синтетикалық талшықтарды қолдану осы кемшіліктерді жою үшін тиімді құрал болуы мүмкін, алайда экструзия кезінде талап етілетін тұрақтылыққа қол жеткізу үшін олардың цемент маркасымен және сумен оңтайлы арақатынасын белгілеу қажет.

Бұдан басқа, қабатты төсеу кезінде талшықтардың цемент матрицасымен өзара іс-қимылы, талшықтардың мөлшері мен түрінің пішінге төзімділігі мен жарықшаға төзімділігіне әсері мәселелері анықталмаған күйінде қалып отыр. Сол себептен, қоспа құрамын іріктеуге кешенді тәсілдің болмауы жаппай құрылысқа 3D-баспа технологиясын енгізуді шектейді.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Зерттеудің мақсаты – ұсақ түйіршікті фибробетондардың құрамын әзірлеу және оңтайландыру 500-D0 PC 400-D0 және PC маркаларының портландцементі негізінде күлдің ұнтағын және полимерлік талшықтардың әртүрлі түрлерін (ПП, ПЭ, нейлон) қоса отырып, құрылыстық 3D-басып шығару.

Мақсатқа қол жеткізу үшін қойылған міндеттер:

– цемент пен минералды қоспалар маркасының қоспалардың реологиялық қасиеттері мен пішінге төзімділігінің әсерлерін зерттеу;

– талшықтардың типі мен мөлшердерінің құрылымдық беріктілігі мен жарықшаға төзімділігінің әсерлерін анықтау;

– сығу және созу кезінде беріктілігіне, тығыздыққа және иілгіштік беріктілігіне кешенді сынақтар жүргізу;

– экструзия кезінде тұрақтылықты және басылған конструкциялардың ұзақтығын қамтамасыз ету үшін қоспалардың құрамын оңтайландыру.

Зерттеу әдістер мен қолдану материалдары. Зерттеудегі негізгі тұтқырлы компоненттер Каспий цемент зауыты (Қазақстан) өндірген PC 400-D0 және PC 500-D0 маркалы портландцементтер болды. Олардың химиялық құрамы мен физикалық-механикалық сипаттамалары берілген (1-кесте).

Кесте 1

Портландцементтердің физикалық-механикалық сипаттамалары

Көрсеткіштер	PC 400–D0	PC 500–D0
Тығыздығы, кг/м³	3100	3150
Меншікті кеңістік, см²/г	3200	3500
Ұстасудың басталуы, мин	95	90
Ұстасудың аяқталуы, мин	350	340
Сығылу беріктілігі (28 тәул.), МПа	42	52

PC 500-D0 маркалы цемент неғұрлым жоғары белсенділікке ие, бұл беріктіктің жедел дамуын және құрылыстық 3D-басып шығару үшін қажетті неғұрлым тығыз микроқұрылымды қамтамасыз етеді.

Минералдық қоспа ретінде құрамында SiO_2 – 57%, Al_2O_2 – 27%, Fe_2O_2 – 5%, CaO – 6% бар, МЕМСТ 25818-2014 сәйкес келетін Екібастұз ГРЭС-2

күлдің ұнтағы пайдаланылды. Күлді (цемент массасының 10-15%) қосу клинкер шығынын төмендетуге және қоспаның тиксотроптық қасиеттерін жақсартуға мүмкіндік берді.

Арматуралау үшін полимерлік талшықтардың үш түрі қолданылды:

– полипропиленді (PP) – тығыздығы 0,91 г/см³, беріктігі 550 МПа, ұзындығы 12 мм;

– полиэтиленді (PE) – тығыздығы 0,94 г/см³, беріктігі 400 МПа, ұзындығы 12 мм;

– нейлонды (PA) – тығыздығы 1,15 г/см³, беріктігі 700 МПа, ұзындығы 6 мм.

– талшықтардың әрбір түрі тұтқыр салмағының 0,5% мөлшерінде қосылады.

Қоспаларды дайындау және олардың құрамы. Эксперимент үшін қоспалардың төрт құрамы дайындалды. Барлық қоспалардың су-цементтік қатынасы бірдей (W/C = 0,38) және құрамында ірілік модулі 1,8 құм бар (2-кесте).

Кесте 2

Зерттелетін қоспалардың құрамы

Қоспалардың белгіленуі	Цемент	Күлдің ұнтағы, %	Талшықтардың түрлері	Талшықтардың үлесі, %
C1	PC 400–D0	10	PP	0,5
C2	PC 400–D0	10	PE	0,5
C3	PC 500–D0	15	PP	0,5
C4	PC 500–D0	15	PA	0,5

Күл мен талшықтардың мөлшерін таңдау ағымдылығын жоғалтпай экструзия кезінде қабаттардың тұрақты қалыптасуын қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін тиксотропия мен беріктікті алдын ала зерттеуге негізделген.

Араластыру планетарлық араластырғышта жүргізілді:

Алдымен құрғақ компоненттер (цемент, құм, күл) 3 минут бойы араластырылған кейін біркелкі бөлу үшін төмен айналымда (60 айн/мин дейін) талшықтар енгізілді. Содан кейін су қосылады, қоспа бір текті масса алынғанға дейін тағы 2 минут араластырылады.

Сынау әдістері. Сынақтар құрылыс материалдары зертханасында (20 ± 2)°C температурада және ылғалдылығы (60 ± 5)% болған кезде жүргізілді.

– жұмысқа жарамдылығы (конустың төгілуі) – МЕМСт 10181 бойынша;

– сығылу беріктілігі – ASTM бойынша 1, 7 және 28 тәуліктен кейін c39;

– жарылу кезіндегі беріктігі (созылуға) – ASTM C496 бойынша;

– иілгіштік беріктілігі – 1, 15, 35 және 50 мин сайын мәндерін тіркей отырып, ASTM c109 бойынша;

– 12730.1. МЕМСт бойынша орташа тығыздығы.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Зерттеулер бойынша алынған нәтижелер бойынша қоспалардың реологиялық қасиеттері келтірілген (3-кесте).

PC 400-D0 цементімен қоспалар (C1, C2) неғұрлым жоғары қозғалғыштықты көрсетті, бұл цемент матрицасының тұтқырлығы аз болуымен түсіндіріледі. PC 500-D0 C3 құрамы азырақ (165 мм), бірақ бұл ретте қабаттың тұрақты пішінін сақтаған, бұл экструзия технологиясы үшін өте маңызды. Сол себептен цемент маркасының жоғарылауы ағымдылықты төмендетеді, бірақ пішін төзімділігі мен ерте беріктілігін арттырады.

Кесте3

Зерттелетін қоспалардың реологиялық көрсеткіштері

Көрсеткіштер	C1	C2	C3	C4
Конусты тарқату, мм	180	175	165	170
Ұстасудың басталу уақыты, мин	95	100	90	92
Ұстасудың аяқталу уақыты, мин	355	360	340	345
Тығыздығы, кг/м³	2410	2400	2385	2390

Сығылуға және созылуға беріктілігін анықтау үшін эксперименттердің нәтежелері келтірілген. Нәтежелер бойынша сығылуға (52 МПа) және созылуға (5,9 МПа) беріктіліктің ең жоғары көрсеткіштері C3 қоспасын көрсетті (PC 500-D0 + 15% күлді алып кету + 0,5% PP) (4-кесте).

Кесте 4

Зерттелетін қоспалардың төзімділік көрсеткіштері

Жасы, тәулік	Сығылуға беріктілік, МПа	Созылуға беріктілік, МПа
	C1	C2
1	25	24
7	36	35
28	50	48

Полиэтилен және нейлон талшықтары бар құрамдар (C2, C4) біршама аз мәндерді көрсетті, бұл талшықтардың цемент матрицасымен неғұрлым әлсіз тіркелуіне байланысты.

Осылайша, полипропилен талшықтары 3D басып шығару кезінде қабаттардың біркелкі қалыптасуы үшін маңызды болып табылатын беріктілік пен икемділіктің оңтайлы қатынасын қамтамасыз етеді.

Сығылуға (52 МПа) және созылуға (5,9 МПа) беріктіліктің ең жоғары көрсеткіштері C3 қоспасын көрсетті (PC 500-D0 + 15% күлдің ұнтағы + 0,5% PP).

Полиэтилен және нейлон талшықтары (C2, C4) бар құрамдар бірнеше аз мәнді көрсетті, бұл талшықтардың цемент матрицасымен біршама әлсіз ілінісуіне байланысты. Сол себептен полипропилен талшықтары беріктілік пен икемділіктің оңтайлы арақатынасын қамтамасыз етеді, бұл 3D-басып шығару кезінде қабаттарды біркелкі қалыптастыру үшін маңызды болып табылады (5-кесте).

Кесте 5

Зерттелетін қоспалардың иілгіштік беріктілігі

Уақыт, мин	C1	C2	C3	C4
1	0,20	0,18	0,22	0,19
15	1,00	0,95	1,10	1,00
35	2,45	2,40	2,60	2,50
50	3,45	3,30	3,60	3,40

Қоспалардың иілгіштік беріктігі алғашқы 50 минутта сызықтық ұлғаяды, бұл құрылымның тұрақты қалыптасуын көрсетеді.

Ең жоғары мәндер С3 – 3,6 МПа құрамында тіркелген, бұл қабатты төсеу кезінде қабаттардың жоғары орнықтылығын көрсетеді.

С1 құрамы салыстырмалы нәтижелер көрсетті (3,45 МПа), бірақ тығыздығы мен жылдамдығы аз болады. Сондықтан PC 500-D0 цемент және PP талшықтары экструзиялық басып шығару үшін оңтайлы жағдайларды қамтамасыз ете отырып, неғұрлым берік ерте құрылымды қалыптастыруға ықпал етеді

Зерттеу нәтижелері бойынша PC 500-D0 жоғары белсенді цементтің, (15%) күл ұнтағының және полипропилен талшықтарының (0,5%) үйлесімі құрылыстық 3D-баспасына арналған оңтайлы қасиеттерге ие композицияны қалыптастыратынын растады.

Қорытынды. Қорытындылай келе цемент маркасын арттыру қоспаның ерте беріктігін арттырады, бұл қабаттарды басу кезінде тұрақтылықты қамтамасыз етеді.

Күлді қолдану тиксотроптық қасиеттерін жақсартады және цемент шығынын азайтуға мүмкіндік бере отырып, су қажеттілігін төмендетеді.

Полипропилен талшықтары жарықшалардың дамуына кедергі келтіретін микробайланыстар жасау арқылы микроқұрылымды жақсартады.

Алынған нәтижелер Nematollahi (2018) и Lv (2022), онда PP-талшықтарды мөлшерлеуде беріктіктің 0,3-0,5% ұқсас артуы байқалған.

Осылайша, құрылыс 3D-баспа технологиясы үшін оңтайлы құрам PC 500-D0 + 15% күлдің ұнтағы + 0,5% полипропилен талшықтары болып табылады, олар: қысымға беріктігі 52 МПа, иілгіштік беріктілігі 3,6 МПа, қабатталусыз экструзия кезінде пішіннің тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Әзірленген қоспалар аз қабатты құрылыс пен өндірісте 3D-баспа әдісімен сәулеттік әрлеу элементтерін қолдану үшін жоғары әлеуетті көрсетеді.

Әдебиеттер тізімі

1. Nematollahi B., Xia J., Sanjayan J. Effect of polypropylene fibre addition on properties of geopolymers made by 3D printing for digital construction // Materials. – 2018. – Vol. 11. – No. 12. – P. 2352.
2. Zhu W., Pan D., Geng J., Ma C. Experimental study on the influence of fly ash on early age performance and buildability of 3D printable concrete // Construction and Building Materials. – 2021. – Vol. 313. – P. 125512.
3. Kazemian A., Yuan X., Cochran J.K., Khoshnevis B. Cementitious materials for construction-scale 3D printing: Laboratory testing of fresh printing mixtures // Construction and Building Materials. – 2017. – Vol. 145. – P. 639-647.
4. Ma G., Li Z., Wang L. Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete // Materials. – 2018. – Vol. 11. – No. 2. – P. 270.
5. Bos F., Wolfs R., Ahmed Z., Salet T. Additive manufacturing of concrete in construction: Potentials and challenges of 3D concrete printing // Virtual and Physical Prototyping. – 2016. – Vol. 11. – No. 3. – P. 209-225.
6. Le T.T., Austin S.A., Lim S., Buswell R.A., Gibb A., Thorpe T. Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete // Materials and Structures. – 2012. – Vol. 45. – P. 1221-1232.
7. Nerella V., Mechtcherine V. Performance of 3D printed mortars containing fibres: Influence on fresh and hardened state behavior // Cement and Concrete Composites. – 2019. – Vol. 97. – P. 31-40.

8. Zareiyan B., Khoshnevis B. Effects of interlocking on interlayer adhesion and strength of structures in 3D printing of concrete // Automation in Construction. – 2017. – Vol. 83. – P. 307-317.
9. Sanjayan J., Nematollahi B., Xia M., Marchment H. Effect of surface moisture on interlayer strength of 3D printed concrete // Construction and Building Materials. – 2018. – Vol. 172. – P. 468-475.
10. Lv X., Chen Y., Guo J., Zhu H. Mechanical properties and microstructure of fiber-reinforced 3D printable concrete with supplementary cementitious materials // Frontiers in Materials. – 2022. – Vol. 9. – P. 859322.

Зерттеу жұмыстары ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылған AP26197151 «3D басып шығаруға арналған қалдықтарға негізделген тиімді ұсақ түйіршікті фибробетондар технологиясы» жоба аясында орындалды.

Материал редакцияға 15.01.26 түсті, 11.03.26 қабылданды.

Л.Б. Аруова[1], А.К. Тлеубаева[2], Л.А. Жаксылыкова[1], Д.Ж. Артыкбаев[2]

[1]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
[2]Южно-Казахстанский исследовательский университет им. М. Ауезова, Шымкент, Казахстан

СВОЙСТВА МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ ФИБРОБЕТОНОВ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДАХ ДЛЯ 3Д ПЕЧАТИ

Аннотация. В данной работе представлено исследование по разработке эффективных мелкозернистых фибробетонов, предназначенных для строительной 3D-печати. В качестве вяжущего использовались портландцементы марок PC 400-D0 и PC 500-D0, частично замещённые золой-уносом. Для повышения трещиностойкости и пластичности в состав были введены различные типы полимерных волокон – полипропиленовые, полиэтиленовые и нейлоновые. Целью исследования являлась оптимизация состава бетонной смеси для обеспечения необходимой текучести и формоустойчивости при сохранении высоких прочностных характеристик. Проведённые испытания включали определение реологических свойств, прочности на сжатие и растяжение, плотности и пластической прочности. Установлено, что применение цемента марки PC 500-D0 в сочетании с полипропиленовыми волокнами обеспечивает повышение прочности на сжатие до 50 МПа и увеличение прочности на растяжение до 20% по сравнению с контрольными составами. Добавление золы-уноса позволило снизить расход цемента и повысить удобоукладываемость смеси. Полученные результаты демонстрируют перспективность разработанных смесей для аддитивных технологий строительства, обеспечивая повышение долговечности и снижение себестоимости строительных материалов.

Ключевые слова: 3D-печать, фибробетон, портландцемент, зола-уноса, полипропиленовые волокна, прочность, долговечность.

L. Aruova[1], A. Tleubaeva[1], L. Zhaksylykova[1], D.Zh. Artykbaev[2]

[1]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
[2]M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan

PROPERTIES OF FINE-GRAINED FIBER-REINFORCED CONCRETE MADE FROM INDUSTRIAL WASTE FOR 3D PRINTING

Abstract. This paper presents a study on the development of effective fine-grained fiber-reinforced concrete for 3D construction printing. Portland cements of grades PC 400-D0 and PC 500-D0, partially replaced with fly ash, were used as binders. To increase crack resistance and plasticity, various types of polymer fibers were added to the composition, including polypropylene, polyethylene, and nylon. The aim of the study was to optimize the composition of the concrete mix to ensure the necessary fluidity and dimensional stability while maintaining high strength. The tests conducted included determining rheological properties, compressive and tensile strength, density, and plastic strength. It was found that the use of PC 500-D0 cement in combination with polypropylene fibers increases compressive strength to 50 MPa and tensile strength by 20% compared to the control compositions. The addition of fly ash reduced cement consumption and improved the workability of the mixture. The results demonstrate the promise of the developed mixtures for additive construction technologies, ensuring increased durability and reduced cost of building materials.

Keywords: 3D printing, fiber-reinforced concrete, Portland cement, fly ash, polypropylene fibers, strength, durability.

IRSTI 67.11.31

B. Omarov[1] – *main author*,
B. Kopzhasarov[2], **S. Mominova**[3],
S. Duisenbayeva[4], **A. Zhunusbekov**[5]

©

[1]PhD, [2,4,6]Associate Professor, [3]PhD, [5]Professor

ORCID

[1]https://orcid.org/0000-0002-3347-4232 [2]https://orcid.org/0000-0001-9163-2879
[3]https://orcid.org/0000-0001-5005-9826 [4]https://orcid.org/0009-0009-4031-370X
[5]https://orcid.org/0009-0000-0888-4689

[1,2,3,5]M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan
[4]Kazakh National University of Water Management and Irrigation, Taraz, Kazakhstan

@ *[3]saule_momynova@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/USRD2485

STRUCTURAL AND THERMAL BEHAVIOR OF MULTILAYER WALL SYSTEMS WITH ADVANCED INSULATION COATINGS: DEFORMATION ANALYSIS AND PERFORMANCE EVALUATION

Abstract. The article is devoted to the analysis of the deformation characteristics of multilayer wall structures with effective thermal insulation coatings and the development of calculation methods that take deformations into account based on the provisions of SNiP 2.03.01-84*. The relevance of the study is driven by increased requirements for the thermal protection of building envelopes and the need to ensure energy efficiency in buildings. Aim of the work is to develop a method for calculating the deformations of such structures, taking into account their specific structural behavior, including the interaction between layers and the formation of cracks in the support zones. The scientific novelty lies in the acquisition of experimental data on the deformation characteristics of three-layer structures, the refinement of the physical and mechanical properties of arbolite, as well as proposals for taking into account the influence of transverse reinforcement and shear deformations in the calculation of bending elements.

Keywords: thermal resistance of enclosing structures; heat transfer resistance coefficient of walls; heat flux; sandwich wall panel; flexible ties; strength of reinforced concrete structures; crack resistance of reinforced concrete structures.

Omarov B., Kopzhasarov B., Mominova S., Duisenbayewa S., Zhunusbekov A. Structural and thermal behavior of multilayer wall systems with advanced insulation coatings: deformation analysis and performance evaluation //Mechanics and Technology / Scientific journal. – 2026. – No.1(91). – P.283-296. https://doi.org/10.55956/USRD2485

Introduction. Modern construction is inconceivable without reinforced concrete structures, the most common of which are enclosing structures. As society evolves, so do the requirements for these structures. Due to the non-renewable nature of energy resources, there is a constant increase in the demands placed on enclosing structures, particularly regarding their thermal resistance, in order to reduce energy consumption during the operation of buildings and facilities. Today, traditional single-layer structures, whether made of lightweight concrete, brick, wood, or cellular concrete, no longer meet current thermal and economic standards and are

gradually being replaced by a new generation of structures with high thermal insulation properties: three-layer panels.

Energy consumption in Kazakhstan's public utilities represents 38% of the total expenditure on fuel and energy resources. Heat losses through the external parts of buildings are influenced by the thermal insulation properties of the structures. The highest losses occur through the walls, which significantly impact the indoor climate. Walls can account for up to 45% of heat loss, with heat transfer depending on the material's thermal conductivity. Moisture increases the material's heat transfer rate, lowering its insulation efficiency. For example, as the moisture content in brick rises, its thermal insulation capacity decreases by 30%.

Windows contribute to 20-30% of heat loss due to their much lower heat resistance compared to walls. Wind exacerbates heat loss through windows, as it can penetrate through porous materials. Heat loss through first-floor slabs ranges from 3% to 10%. Significant heat loss also occurs through the roof in winter, especially in single-story homes, with losses reaching up to 35%. Ventilation also plays a role in heat loss, as excessive air volume often surpasses recommended levels, increasing heating costs by up to 15%.

Therefore, the typical breakdown of a building's heat energy consumption is as follows (Fig. 1).

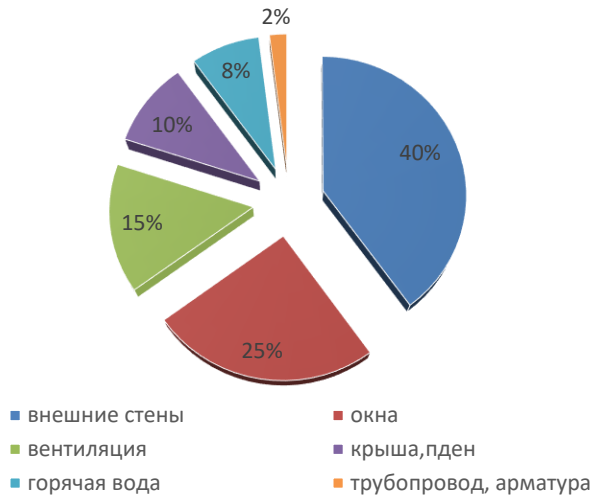


Fig. 1. Structure of a building’s heat energy consumption

At an average outdoor temperature of -25°C and a heating season lasting 5 months, the annual heat energy consumption for heating residential spaces in one- to two-story buildings is 766.8 kWh/m². The relatively high energy consumption in buildings within our country, compared to other countries, is largely due to the fact that most existing buildings were constructed according to the building codes and standards that were in effect at the time of their construction.

Increasing the thermal resistance of structures is a key focus in CIS countries. In Russia, regulations have been in place since 1994 to improve the thermal performance of building envelopes. For example, to save energy, the use of single-layer panels with a density greater than 900 kg/m³ was banned, and they were replaced with sandwich panels featuring thermal inserts. In 1995, Amendment No.

3 to SNiP II-3-79 was implemented, raising the thermal resistance of walls from 1.16 $m^2 \cdot °C/W$ to 2.2 $m^2 \cdot °C/W$, which resulted in a 17% reduction in heating costs [1,2].

Since 2000, Russia has moved to the second phase of energy efficiency, aiming to achieve an R-value of 3 $m^2 \cdot °C/W$, which would reduce heat loss by 22%. This is accomplished by using sandwich panels with polystyrene insulation and point connections to prevent "thermal bridges."

Kazakhstan is also working towards improving thermal performance, with standards such as SN RK 2.04-21-2004 and regulations for residential and public buildings (thermal resistance requirements range from 2.1 to 3.8 $m^2 \cdot °C/W$). Legislative efforts, like the "On Energy Saving" Law (2012) and Government Decree No. 1115, aim to enhance energy efficiency. Research indicates that traditional exterior wall structures no longer meet modern thermal insulation standards.

To improve thermal protection, walls should be equipped with effective insulation. Medium-density concrete (300-500 kg/m^3), with a thermal conductivity coefficient 2.5 to 4 times lower than that of single-layer materials, is ideal for the middle insulating layer of sandwich panels [3]. Various traditional and innovative filling aggregates are used, such as perlite, expanded clay, foam glass granulate, as well as wood processing waste and polymer granules, which reduce thermal conductivity by 25-30%.

Thermal insulation of concrete can be enhanced by 20-30% through the use of low-energy binders made from industrial waste or volcanic rocks. The use of sandwich construction improves heat transfer resistance by 2 to 2.5 times, reduces material consumption, and helps maintain a regulated indoor climate.The use of sandwich construction is technically feasible, as they reduce the weight of enclosures by 4-5 times, increase spacings, improve seismic resistance, and allow for free layout. This also enhances construction quality, thermal insulation, sound insulation, and the aesthetic characteristics of buildings.

Sandwich construction enhances heat transfer resistance by 2 to 2.5 times, reduces material consumption, and improves indoor thermal and humidity conditions. It also reduces the weight of building enclosures, allows for larger spacing between structural elements, boosts seismic resistance, and offers greater flexibility in layout design. As a result, construction quality improves, along with thermal and sound insulation properties, and the overall aesthetic of buildings is enhanced.

The formation of separate layers increases the precision of panel thickness and thermal insulation properties. This method permits the use of different insulating materials, including filling materials, while preventing thermal bridges. It also makes it possible to effectively use compressible and moisture-absorbing insulation without compromising thermal efficiency.

The Central Scientific Research Institute of Construction has developed sandwich panels that meet the SNiP II-3-79* "Thermal Engineering for Construction" standards, providing a heat transfer resistance between 2.6 and 3.1 $m^2 \cdot °C/W$. These panels can be produced with standard equipment and are suitable for various climatic conditions. They feature load-bearing concrete layers connected by reinforced concrete water stops that prevent freezing.

Compared to panels with flexible ties, these new panels offer several benefits, such as the ability to substitute expanded clay with standard concrete, higher strength, dependable thermal insulation, and a 30% reduction in labor costs. Moreover, they save up to 25% of concrete and enhance the rigidity of the panels.

Modern sandwich panels with insulation made from lightweight concrete, such as arbolite, contribute to reducing both labor costs and material consumption in construction. For warm attic coverings, panels incorporating various layers, including arbolite and expanded clay concrete, are being developed [4].

Using polystyrene concrete as insulation enhances the thermal efficiency of structures, resulting in material savings and cost reductions. In several countries, polystyrene concrete is successfully utilized in the production of sandwich panels, improving the thermal and operational properties of buildings.

Sandwich construction with lightweight concrete is also commonly used in international construction, particularly in countries like Sweden, Finland, and Belgium. Ongoing advancements in concrete mix development and manufacturing technologies continue to expand the applications of such panels in various environments.

In residential buildings, sandwich panels experience eccentric compression due to their own weight and floor loads, while those in industrial, public, and agricultural buildings are subject to oblique bending. According to Industry-Specific Construction Standards-32-77, the strength calculation for panels with “non-rigid” connections between layers is carried out without considering their joint functionality. Connections are deemed “rigid” if the strength of the insulation layer is at least 35 kg/cm² and proper bonding between the layers is ensured.

Research by V.S. Uvarov [5] has indicated that the combined action of layers increases the load-bearing capacity of the inner layer by 1.3 to 4 times. Insulated panels can have greater strength than non-insulated ones if the impact of the outer layer is taken into account.

On the other hand, studies by V.G. Tsimbler and other researchers have shown that while insulated panels have a higher load-bearing capacity, their strength is mainly determined by the load-bearing layer, rather than the crack resistance of the outer layer.

N.V. Morozov introduced a method for calculating insulated panels as structural components in systems with metal lattice bracings. He highlighted the necessity for further investigation into the strength of sandwich panels with localized bracings.

The calculation of such panels for industrial and agricultural buildings is typically done approximately, considering the horizontal load applied to either the inner layer or both layers, depending on the method used. The Central Research Institute of Engineering Design (CNIIEP) has confirmed the validity of this approach [6], but additional research is required.

Design guidelines for sandwich panels with flexible connections suggest accounting for the combined action of layers, determining the cracking moment and deflections using formulas that still need further experimental validation.

Theoretical and experimental studies on the development and improvement of the analysis of multilayer structures were carried out by A.Ya. Aleksandrov, L.E. Bryukker, L.M. Kurshin, A.P. Prusakov [6,7,8], A.T. Arkhangorodsky, B.Ya. Rozendent [9], E.I. Grigolyuk [10], A.Ya. Aleksandrov, M.Ya. Borodin, V.V. Pavlov [11], Sh.A. Nazirov [12], K.Sh. Bobomuradov, V.K. Kabulov [13], T.Sh. Shirinkulov, A.G. Temirov [14], O. Jungbluth [15], and others, who laid the theoretical foundations for the analysis of three-layer structures. The analysis of monolithic reinforced concrete structures was studied by B.V. Gorenstein [16], A.A. Evdokimov and L.N. Brusakova [17], I.L. Zhodzishsky and V.G. Zolotukhin [8], N.A. Kornev and A.A. Akbarov [19], A.A. Kudryavtsev [20].

Experimental data have been collected for two types of cross-sections: two-layer sections made of heavy and lightweight concrete, with low-strength concrete placed in either the compressed or tensioned zones, and three-layer sections, where the outer layers consist of heavy or dense lightweight concrete, and the middle layer is predominantly made of low-strength materials such as foam concrete, large-pore concrete, arbolite, polystyrene concrete, and others.

Many researchers propose calculating sandwich reinforced concrete elements with monolithically connected layers based on the ultimate limit states of the first and second groups. This approach uses current standards while taking into account the variations in the strength and deformation properties of the concrete layers.

Although current standards do not provide specific recommendations for calculating monolithic multi-layer elements, most authors agree that it is appropriate to apply existing methods while considering the geometric characteristics and differences between layers.

Materials and methods. The study of the deformative characteristics of three-layer wall structures with monolithically bonded layers was carried out under laboratory conditions using experimental and theoretical methods in accordance with the requirements of regulatory documents SNiP 2.03.01-84, GOST 10180-78, and GOST 24452-80.*

To conduct the experiment on studying the light resistance, deformation characteristics, and strength of three-layer flexible elements with a thin insulation layer, a test beam was fabricated with a length of 330 cm, a span of 300 cm, and a cross-section of 25×16 cm (Table 1).

The beam dimensions were selected to closely approximate the cross-sectional geometry of actual enclosing building structures under real operating conditions. The thickness of the outer layers was set at the minimum value of 4 cm to ensure reliable protection of the reinforcement from corrosive environmental effects. Arbolite concrete with an organic filler made from crushed cotton stalks was used as the raw material for the middle layer, allowing the use of locally available resources and reducing the overall material cost.

Table 1

Outlines of test samples

Outline	Name	Characteristic	Varied factors
3	4	5	6
	BA-I-1 BA-I-2 BA-I-3 BA-I-4 BA-I-5 BA-I-6 BA-I-7 BA-I-8	The samples are three-layered with insulation made of arbolit concrete, reinforced with two longitudinal Ø12 bars made of A-III class steel	Vertical transverse reinforcement (Ø4,5; 5,66;6,93;8;8,94;9 mm)

Methods of Data Processing

For the analysis, the following approaches were used:

1. Comparison of experimental deflections with theoretical values, calculated:

– Using the classical formulas of SNiP;

– Using refined relationships that take into account the cross-sectional shape and the behavior of layers;

– Using adjusted coefficients φcrc and Ψb for lightweight concretes.

2. Determination of the influence of transverse reinforcement on:

– Deflections caused by shear forces;

– Shear stiffness;

– Development of inclined cracks.

3. Assessment of the cooperative behavior of layers under crack formation conditions.

4. Selection of optimal coefficients for calculating deformations of three-layer elements.

Research Materials

The study focused on experimental three-layer rectangular beams, which comprised:

– Outer layers of heavy concrete with a compressive strength of 25 MPa and a thickness of 4 cm;

– A middle layer of arbolite concrete with a density of approximately 500 kg/m³ and a compressive strength of 1 MPa, produced using cotton stems up to 40 mm in length;

– Longitudinal reinforcement consisting of two Ø12 mm steel bars of class A-III;

– Transverse reinforcement consisting of vertical steel bars Ø4-9.8 mm of class A-I, spaced at 21 cm (this parameter was varied);

– Two beams were fabricated without transverse reinforcement.

For the concrete of the outer layers, crushed stone (5-10 mm fraction), quartz sand with a density of 1540 kg/m³, and M400 cement were used. The middle layer incorporated an air-entraining additive (SDO) at 0.25% of the cement mass.

Specimens Fabricated

A total of the following specimens were produced:

– Eight three-layer beams, each 330 cm in length (effective span 300 cm) with a cross-section of 25×16 cm;

– Cubes measuring 15×15×15 cm and 10×10×10 cm – 6 pieces;

– Prisms measuring 15×15×60 cm and 10×10×40 cm – 54 pieces;

– Control specimens of both types of concrete were prepared from the same mixes as used for the beams.

Specimen Preparation Conditions

The concrete was mixed in a forced-action mixer, and the layers were placed sequentially in metal, demountable molds with vibration compaction. After casting, the specimens were cured in the molds under moist sawdust for 14 days, then demolded and stored under standard conditions until testing.

Reinforcement cages were fabricated using spot welding (MTP-75 machine), with flat cages combined to form spatial frameworks.

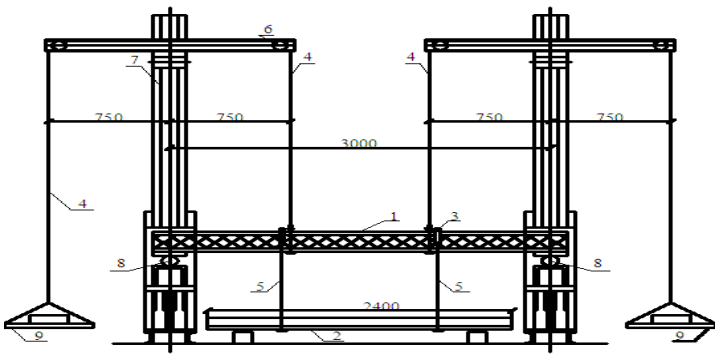
Testing Equipment

A stationary test rig was used for beam testing (Fig. 1), consisting of:

– Four vertical posts;

– Two hinged roller supports;

– A traverse block for applying concentrated loads;
– A system of cables and weights for suspending the beam;
– A loading platform with sets of individual 20 kg weights.
– The measurement system included:
– Deflectometers with an accuracy of 0.001-0.01 mm;
– Dial indicators for recording deformations;
– Strain gauges for monitoring deformations in both reinforcement and concrete.



1 –beam testing; 2 – load platform; 3 – П-shaped traverse; 4 – wires; 5 – tension bars; 6 – blocks; 7 – frames; 8 – ball-bearings; 9 – a with a load for alignment of beams and a cargo platform

Fig. 1. A test stand for three-layer beams with monolithically bonded layers

Testing Methodology

The beams were loaded in increments corresponding to 1/20-1/25 of the estimated ultimate load. At each load step, the load was maintained for 10-15 minutes to record measurements. Upon the appearance of initial cracks, the load increment was halved.

At each stage, the following were recorded:
– Midspan deflections;
– Deformations of the outer and inner concrete layers;
– Deformations of longitudinal and transverse reinforcement;
– Growth and characteristics of normal and diagonal cracks.
– Deflections were also separately determined for:
– Bending moments;
– Shear forces;
– Total deflections, calculated as the sum of the two components.

For comparison with experimental results, theoretical calculations were carried out using structural mechanics formulas and in accordance with SNiP 2.03.01-84*, taking into account:
– The transformed I-section;
– Initial elastic moduli of the concretes;
– Creep coefficients φb_1;
– Coefficients Ψb and Ψs for cracked stages;
– Cross-section shape factor K;
– Coefficient φcrc for shear-induced cracks.

Testing of Arbolite Concrete

For arbolite concrete with a density of 500 kg/m³, the following properties were determined:

- Compressive strength of cubes and prisms;
- Axial tensile strength;
- Initial modulus of elasticity;
- Compressive and tensile deformations up to failure;
- Shrinkage deformations measured on 10×10×40 cm prisms.

Testing was carried out in accordance with GOST 10180-78 and GOST 24452-80. Shrinkage was monitored throughout the entire curing period, with the most active phase occurring during the first 70-80 days.

The strength properties of arbolite concrete are summarized in Table 2. The average cubic and prismatic strength values were calculated as the arithmetic mean of each sample in the series.

Table 2

Cubic and prismatic strength, MPa

Cubic strength, R_m		Prismatic stregnth					
		Compressive stregnth R_b			Tensile strength R_{bt}		
One	Middle	One	Middle	R_b/R_m	One	Middle	R_{bt}/R_m
1,01	1,04	0,76	0,78	0,75	0,28	0,26	0,25

The dependence of prism strength on cubic strength for concretes is expressed as:

$$R_b=R_m(0.77-0.001R_m) \quad (1)$$

but should not be less than 0,72.

For low-strength concretes, the coefficient is 0.77, decreasing to 0.72. In SNiP 2.03.01-84, the coefficient varies from 0.744 to 0.80. For arbolit concrete, the ratio of axial tensile strength to cubic strength is 0.25.

If the tensile strength is proportional to the cubic root of the cubic strength, then K_1=0.199, which is close to the values in SNiP 2.03.01-84.

Deformation characteristics of arbolit concrete are given in Table 3.

Table 3

Deformation characteristics of arbolit concrete

Cubic strength R_m	Tangent modulus of elasticity E_b	Compressive deformation before destruction ε_b	Tensile deformation before destruction ε_{bt}	Shrinkage ε_{shr}	Coefficient ν
1.04	530.0	3.12…3,25	2,3…2,5	5,1	0,2

Data Processing Methods

The analysis was conducted using the following approaches:

1. Comparison of experimental deflections with theoretical values, calculated:

- Using classical SNiP formulas;
- Using refined relations that account for cross-section shape and layer behavior;
- With corrected coefficients φcrc and Ψb for lightweight concretes.

2. Determination of the influence of transverse reinforcement on:
– Deflections due to shear forces;
– Shear stiffness;
– Development of diagonal cracks.
3. Evaluation of the cooperative behavior of layers under cracking conditions.
4. Selection of optimal coefficients for calculating deformations of three-layer elements.

Research results and discussion. The experiment showed that three-layer beams with monolithically bonded layers work together across the entire height of the cross-section until the appearance of cracks. In the initial loading stage, the deflections changed linearly, which corresponds to the behavior of the structure within the elastic range. After the formation of the first vertical cracks, a reduction in stiffness was observed, but the bond between the layers was maintained, confirming the reliability of the monolithic connection. In beams without transverse reinforcement (BA-3, BA-4, BA-5, BA-6, BA-7, BA-8), the ratio of deflection caused by shear force to deflection caused by bending was between 0.56 and 0.59. In beams with transverse reinforcement, this ratio ranged from 0.52 to 1.05 (Table 4). Following crack formation, shear stiffness decreased, and the fq / fm coefficient increased.

Table 4

Experimental deflection values before crack formation and under service loads (0.3…0.7) Q_{max}

Beam reference	Before crack formation					
	Q кН	M кН·м	$f_{tot}\cdot10^3$ см	$f_m\cdot10^3$ см	$f_q\cdot10^3$ см	f_q/f_m
BA-1	2,8	1,76	50	32	18	0,56
BA-2	2,4	1,51	43	27	16	0,59
BA-3	2,0	1,26	32	21	11	0,52
BA-4	2,4	1,51	47	25	22	0,88
BA-5	2,4	1,51	45	27	18	0,67
BA-6	2,0	1,76	42	20	22	1,1
BA-7	2,0	1,26	43	22	21	0,95
BA-8	2,0	1,26	45	22	23	1,05
Beam reference	During operation load					
	Q кН	M кН·м	$f_{tot}\cdot10^3$ см	$f_m\cdot10^3$ см	$f_q\cdot10^3$ см	f_q/f_m
BA-1	4,0	2,52	87	48	39	0,81
BA-2	4,0	2,52	113	65	4	0,74
BA-3	4,0	2,52	110	48	62	1,29
BA-4	4,4	2,77	126	54	72	1,33
BA-5	4,4	2,77	142	57	85	1,49
BA-6	5,2	3,28	209	73	136	1,86
BA-7	2,8	1,76	64	31	33	1,06
BA-8	3,2	2,02	110	37	73	1,97

The ratio f_q/f_m depends on bending and shear stiffness. After crack formation, it remains nearly unchanged, but before destruction, deflections due to shear increase significantly, leading to an increase in f_q/f_m.

In SNiP 2.03.01-84*, it is recommended to determine deflections for bending structures as the sum of deflections from bending and shear. When the span exceeds 10 times the section height, shear deflection can be neglected. For the studied

sandwich beams, the ratio is 12. However, due to the low-strength concrete in the middle layer, the influence of shear was significant, and beam deflections were calculated considering both bending and shear deformations, which were then compared with experimental results.

The deflections from the bending moment for the sandwich samples were calculated as for homogeneous I-shaped cross-section, based on the initial elastic moduli of the concrete layers. Theoretical deflections were obtained using structural theory formulas (as per SNiP 2.03.01-84*).

$$f_m = \frac{M}{\varphi_{b1} E_b \ I_{red}} \rho_m l^2 \quad (2)$$

Table 5

Experimental and theoretical deflection values from bending moments at the midspan relative to the loads

Beam reference	Bending moment M, кН·м	Deflection $f_m \cdot 10^3$ см/%	
		Experiment	Calculation
BA-1	1.26	6.1/100	6.4/105
BA-2	1.26	6.3/100	6.4/102
BA-3	1.26	6.7/100	6.4/196
BA-4	1.26	6.2/100	6.4/106
BA-5	1.26	6.0/100	6.4/106
BA-6	1.26	6.6/100	6.4/97
BA-7	1.26	6.5/100	6.4/98
BA-8	1.26	6.8/100	6.4/94

The calculation results with φ_{b1}=1,0 were compared with the experimental deflections, showing a difference of -6 to +6%, which may be due to variations in elastic modulus and measurement errors.

The calculation of deflections for sandwich structures under bending moments before cracking can be performed using equation (2), replacing the three-layer section with a homogeneous I-shaped cross-section based on the initial elastic moduli of the concrete layers.

The use of arbolite concrete with a density of approximately 500 kg/m³ resulted in a reduction of the modulus of elasticity of the middle layer by about 6-7 times compared to normal-weight concrete. Despite this, the three-layer beams retained sufficient flexural stiffness due to the rigid outer layers. The tests showed that:

– the prismatic strength of the arbolite concrete was about 1 MPa;

– the modulus of elasticity was approximately 3000-3500 MPa, which is consistent with known literature data for lightweight concretes of similar composition;

– the ultimate compressive strain exceeded that of normal-weight concrete, providing more ductile behavior of the middle layer.

The obtained values are in good agreement with previously published experiments on lightweight concretes with plant-based aggregates, but they exhibit lower variability due to the denser structure of the material studied.

Comparison of beams with and without transverse reinforcement showed that:

– the presence of transverse bars significantly increased resistance to diagonal cracking;

– deflections caused by shear forces decreased by 12-20%;

– beams without transverse reinforcement transitioned earlier into the stage of intensive crack formation and had lower load-carrying capacity.

This confirms the importance of considering transverse reinforcement in three-layer elements, especially when lightweight aggregates are used, as they affect the structural behavior in the shear zone.

The first cracks appeared at loads corresponding to 40-55% of the ultimate load. The crack pattern confirmed the composite action of all three layers:

– vertical (flexural) cracks propagated from the outer layers toward the middle layer;

– diagonal cracks were less intensive when transverse reinforcement was present;

– crack opening did not lead to a loss of monolithic bonding between the layers.

Comparison with known data on three-layer structures showed similar patterns; however, in this study, a more uniform interaction of the layers was observed due to the technology of their combined vibration compaction.

Comparison of the results showed:

– Theoretical deflections calculated according to SNiP underestimated the actual deflections by 10-25%;

– Refined formulas, taking into account the coefficients Ψb, Ψs, and φcrc for lightweight concretes, yielded discrepancies of no more than 6-10%;

– Shear stiffness obtained from experiments was lower than the calculated values, which can be explained by the lower modulus of elasticity of arbolite concrete and its heterogeneous structure.

The results indicate the necessity of using modified coefficients for the design of three-layer structures, especially under conditions of combined action of heavy and lightweight concretes.

Conclusion. The physical and mechanical properties of arbolit concrete with a strength of 1 MPa have been studied, including data on compressive strength, axial tension, initial modulus of elasticity, compressibility, tensile capacity, deformability, shrinkage, and the Poisson's ratio.

The deflections of flexural three-layer elements with low-strength arbolit concrete are caused not only by bending but also by shear deformations. Experimental data confirm the possibility of separately calculating deflections from the bending moment and transverse forces, followed by their summation.

The deflections from the bending moment of three-layer structures are recommended to be calculated using the methodology of SNiP 2.03.01-84*, replacing the three-layer section with a homogeneous I-beam section, taking into account the initial elastic moduli of the concrete layers. In the cracked stage, it is proposed to apply a coefficient $\Psi_b = 0.7$.

Reinforcement of the support zones with vertical bars increases the deflections from transverse forces. The influence of transverse reinforcement can be accounted for by reducing the initial elastic modulus of the middle layer concrete by 30%, after which calculations are performed similarly to beams without reinforcement.

Inclined and normal cracks affect the intensity of deflections from transverse forces. The recommendations of SNiP 2.03.01-84* for considering the influence of cracks lead to overestimated results. For beams without transverse reinforcement, the coefficient φ_{crc} for inclined cracks should be taken as 1.5, and for beams with reinforcement – 2, instead of 4.8, as specified in SNiP. The influence of cracks on

deflections is also accounted for by the coefficient φ_{crc}, which is 1.5 for beams without transverse reinforcement and with vertical bars.

Theoretical analysis has shown that for three-layer structures with an initial modulus of elasticity of the middle layer greater than 20 MPa, material resistance formulas can be used to calculate deflections.

References

1. Ozhgibesov, Yu. P. Opyt perevoda proizvodstva panelej naruzhnyh sten na vtoroj etap novyh teplotekhnicheskih norm [Experience in transitioning the production of exterior wall panels to the second stage of new thermal technical standards] // Bulletin of Construction Engineering. – Moscow, 1999. – No. 12. – P. 52-53. [in Russian].
2. SNiP RK 2.04.03–2002. Stroitel'naya teplotekhnika. Normy proektirovaniya [Construction Thermal Engineering. Design Standards]. – Astana, 2002. – 27 p. [in Russian].
3. Nazirov Sh.Yu., Yuldashev T., Akramov Kh.A., Amanov O.T. Algoritm resheniya zadach zhelezobetonnyh plastin [Algorithm for solving problems of reinforced concrete plates] // Proceedings of the Republican Scientific Conference "Sovremennye problemy rasprostraneniya voln v mnogofaznyh soedineniyah zhidkostej i sploshnyh sredah" [odern Problems of Wave Propagation in Multiphase Fluid and Solid Media]. – Tashkent, 1999. – Issue 2. – P. 583-585. [in Russian].
4. Andreev V., Turusov R., Tsybin N. Application of the contact layer in the solution of the problem of bending the multilayer beam // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 153. – P. 59-65. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.080
5. Lam T., Vu D., Dien V., Bulgakov B., Korol E. Properties and thermal insulation performance of lightweight concrete // Magazine of Civil Engineering. – 2018. – Vol. 84, No. 8. – P. 173-191. https://doi.org/10.18720/MCE.84.17
6. Aleksandrov, A. Ya., Bryukker, L. E., Kurshin, L. M. Calculation of three-layer panels. – Moscow: Oborongiz, 1960.
7. Aleksandrov A.Ya. Issues in the calculation of aircraft structural elements. Calculation of three-layer panels and shells: collection of articles No. 1-2. – Moscow: Oborongiz, 1959.
8. Panov I.A., Berger I.A. Strength, stability, vibrations: handbook: in 3 vols. – Moscow: Mashinostroenie, 1968.
9. Arkhangorodsky A.T., Rozendent B.Ya. Three-layer structures in shipbuilding and ship repair. – Kaliningrad: Kaliningrad Book Publishing House, 1988.
10. Aleksandrov A.Ya., Grigolyuk Z.T., Kurshin L.M. Calculation of aircraft structures. Three-layer panels and shells. – Moscow: Mashinostroenie, 1965. – Issues 3-4.
11. Aleksandrov A.Ya., Naumova M.P. Optimal parameters of three-layer plates and shallow shells with unreinforced and reinforced foam fillers under compression // Calculations of elements of aircraft three-layer panels and shells. – Moscow: Mashinostroenie, 1972. – Issue 3. – P. 41-58.
12. Nazirov Sh.Yu., Yuldashev T., Akramov Kh.A., Amanov O.T. Algorithm for solving problems of reinforced concrete plates // Abstracts of the Republican scientific conference "Modern problems of wave propagation in multiphase fluid and solid media". – Tashkent, 1999. – Issue 2. – P. 583-585.
13. Kabulov V.K., Babamuradov K.Sh. Computer-based calculation of three-layer shells. – Tashkent: Fan, 1970. – 165 p.
14. Shirinkulov T.Sh., Temirov A.G. Bending of simply supported three-layer anisotropic plates // Problems of Mechanics. – 1992. – No. 1. – P. 13-20.
15. Jungbluth, O. Sandwichflächentragwerke im konstruktiven Ingenieurbau. – Orlanden: Westdeutscher Verlag, 1971.
16. Gorenstein, B.V. On the calculation of multilayer reinforced concrete structures // Construction Industry. – 1958. – No. 7.
17. Evdokimova A.L., Brusakova L.N. Physico-mechanical properties of thermal insulating polystyrene concrete and its bond strength with structural expanded clay concrete // New

technologies and properties of lightweight concrete. – Moscow: NIIZHB, 1980. – P. 99-103.
18. Zhodzishsky I.L., Zolotukhin V.G. Devices of reinforced foam concrete slabs and methods for their reduction // Studies on prefabricated and precast-monolithic structures made of lightweight and cellular concretes. – Moscow: NIIZHB, 1960. – P. 81-105.
19. Kornev N.A., Kudryavtsev A.A., Litvin I.S., Devyatisilny G.I. Expanded clay concrete wall panels with a length of 12 m // Industrial Construction. – 1964. – No. 3.
20. Kudryavtsev, A.A., Belenky, Yu.S. Floor slabs with a layer of arbolite // Concrete and Reinforced Concrete. – 1982. – No. 10. – P. 16-17.

Received: 01 December 2025
Accepted: 24 February 2026

Б. Омаров[1], Б. Копжасаров[1], С. Моминова[1], С. Дуйсенбаева[2], А. Джунусбеков[1]

[1]М. Ауезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті, Шымкент, Қазақстан
[2]Қазақ ұлттық су шаруашылығы және ирригация университеті, Тараз, Қазақстан

ЖЕТІЛДІРІЛГЕН ЖЫЛУ ОҚШАУЛАУ ҚАПТАМАЛАРЫ БАР КӨПҚАБАТТЫ ҚАБЫРҒА ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ЖӘНЕ ЖЫЛУ-ТЕХНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ: ДЕФОРМАЦИЯЛАРДЫ ТАЛДАУ ЖӘНЕ ЖҰМЫС ІСТЕУІН БАҒАЛАУ

Аңдатпа. Мақала тиімді жылу оқшаулағыш қаптамалары бар көпқабатты қабырға конструкцияларының деформациялық сипаттамаларын талдауға және СНиП 2.03.01-84* талаптарына сәйкес деформацияларды ескеретін есептеу әдістерін әзірлеуге арналған. Зерттеудің өзектілігі ғимараттардың қоршау конструкцияларының жылулық қорғанышына қойылатын жоғары талаптармен және энергия тиімділігін қамтамасыз ету қажеттілігімен негізделеді. Жұмыстың мақсаты – қабаттар арасындағы әрекеттесу мен тірек аймақтарында жарықтардың пайда болуын ескере отырып, мұндай конструкциялардың деформацияларын есептеу әдістемесін жасау. Ғылыми жаңалығы – үш қабатты конструкциялардың деформациялық сипаттамалары бойынша эксперименттік деректер алу, арболиттің физика-механикалық қасиеттерін нақтылау, сондай-ақ көлденең арматураның және ығысу деформацияларының иілетін элементтерді есептеуде әсерін ескеру бойынша ұсыныстар әзірлеу.

Тірек сөздер: қоршау конструкцияларының жылулық кедергісі, қабырғалардың жылуөткізгіштікке кедергі коэффициенті, жылу ағыны, үш қабатты қабырға панелі, иілгіш байламдар, темірбетон конструкциясының беріктігі, темірбетон конструкцияларының жарыққа төзімділігі.

Б. Омаров[1], Б. Копжасаров[1], С. Моминова[1], С. Дуйсенбаева[2], А. Джунусбеков[1]

[1]Южно-Казахстанский исследовательский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахста
[2]Казахский национальный университет водного хозяйства и мелиорации, Тараз, Казахстан

СТРУКТУРНО-ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ СТЕНОВЫХ СИСТЕМ С СОВРЕМЕННЫМИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ: АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИЙ И ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Аннотация. Статья посвящена анализу деформационных характеристик многослойных стеновых конструкций с эффективными теплоизоляционными покрытиями и разработке методов расчёта, учитывающих деформации согласно

положениям СНиП 2.03.01-84*. Актуальность исследования обусловлена повышенными требованиями к тепловой защите ограждающих конструкций и необходимостью обеспечения энергоэффективности зданий. Цель работы – разработка метода расчёта деформаций таких конструкций с учётом их специфического структурного поведения, включая взаимодействие между слоями и образование трещин в опорных зонах. Научная новизна заключается в получении экспериментальных данных о деформационных характеристиках трёхслойных конструкций, уточнении физико-механических свойств арболита, а также предложениях по учёту влияния поперечной арматуры и сдвиговых деформаций при расчёте изгибаемых элементов.

Ключевые слова: термическое сопротивление ограждающих конструкций, коэффициент сопротивления теплопередаче стен, тепловой поток, трехслойная стеновая панель, гибкие связи, прочность железобетонных конструкций, трещиностойкость железобетонных конструкций.

МРНТИ 67.13.21

И.И. Бекбасаров[1] – *основной автор,*
Е.И. Атенов[2], Н.А. Шаншабаев[3]

[1]Д-р техн. наук, [2,3]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/GBLG7952

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА СУХОГО ГРУНТА, НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ ВЫШТАМПОВЫВАНИЯ ТРАНШЕЙ В ВОДОНАСЫЩЕННОМ ГРУНТЕ

Аннотация. Представлены результаты решения задачи по определению количества сухого грунта, необходимого для выштамповывания траншеи в водонасыщенном грунте. Исходные уравнения составлены на основе принципа равенства масс и принципа равенства объемов. Принцип равенства масс допускает, что масса грунтовой смеси, которая образуется в виде уплотненной оболочки вокруг траншеи (при выштамповывании), состоит из массы водонасыщенного грунта и массы сухого грунта (в перемешанном виде). Принцип равенства объемов допускает, что объем твердых частиц сухого грунта равен сумме объемов пор водонасыщенного и сухого грунтов. Получены формулы, которые позволят определять количество сухого грунта с учетом ряда физических параметров самого сухого грунта, водонасыщенного грунта и уплотненной грунтовой смеси, которая образуется из первых двух указанных грунтов. Формулы позволяют получать неодинаковые результаты, и подлежат экспериментальной проверке.

Ключевые слова: водонасыщенный грунт, сухой грунт, грунтовая смесь, масса, объем, плотность, влажность, пористость, максимальная плотность, оптимальная влажность.

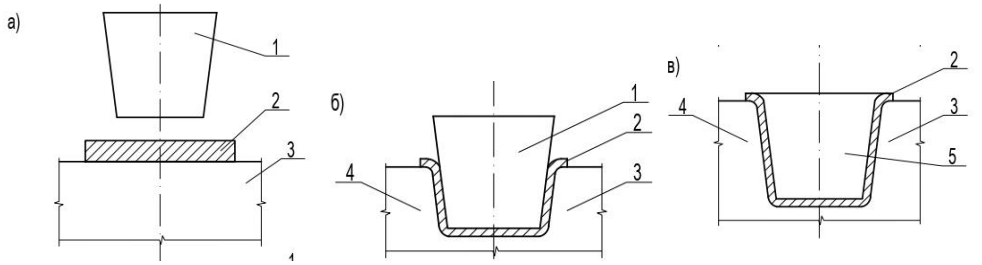
Бекбасаров, И.И. Определение количества сухого грунта, необходимого для выштамповывания траншей в водонасыщенном грунте [Текст] / И.И. Бекбасаров, Е.И. Атенов, Н.А. Шаншабаев // Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №1(91). – С.297-306. https://doi.org/10.55956/GBLG7952

Введение. Метод вытрамбовывания котлована, выемок и полостей, а также метод выштамповывания траншей и скважин в грунтовой толще, используемые при устройстве оснований и фундаментов зданий и сооружений, первоначально разрабатывались применительно к просадочным и насыпным грунтам с целью их уплотнения [1,2]. В последующем, данные методы были распространены и на другие виды грунтов, в том числе на:

- крупнообломочные грунты (гравийные и галечниковые с глинистым заполнителем) [3];
- глинистые грунты с плотностью в сухом состоянии более 1,7 т/м^3 [4];

- пылеватые и мелкие пески, рыхлого сложения и средней плотности (содержащие глинистые частицы) [5-7];
- засоленные грунты [8-10];
- водонасыщенные грунты [11].

Использование как метода вытрамбовывания, так и метода выштамповывания в перечисленных грунтах характеризуется рядом технологических особенностей, которые непосредственно связаны с их свойствами и состоянием. Так, вытрамбовывание котлована в водонасыщенном (увлажненном или переувлажненном) грунте осуществляется путем механического внедрения в него сухого (или маловлажного) грунта в процессе подготовки котлована. Технологически данная процедура для процесса выштамповывания траншеи реализуется следующим образом (рис.1). Поверху водонасыщенного грунта, укладывается слой сухого (маловлажного) грунта, и выштамповывание траншеи производится через этот грунт. В результате, вокруг готовой траншеи, формируется уплотненная оболочка, состоящая из смеси сухого и водонасыщенного грунтов. Влажность грунтовой смеси в пределах уплотненной оболочки близка к оптимальной влажности, а ее плотность – к максимальной плотности.



1 – штамп; 2 – слой сухого грунта; 3 – водонасыщенный грунт; 4 – уплотненная грунтовая оболочка; 5 – выштампованная траншея.

Рис. 1. Схема к процессу выштамповывания траншеи в водонасыщенном грунте: укладка слоя сухого грунта (а); забивка штампа (б); траншея с уплотненной грунтовой оболочкой (в).

Рассмотренный технологический способ позволяет облегчать процесс подготовки котлована и улучшать качество формирования его боковых стенок и дна. Эффективность способа во многом зависит от того, насколько правильно будет принято (назначено) количество сухого грунта, укладываемого поверху водонасыщенного грунта, так как именно этот объем сухого грунта вовлекается трамбовкой для формирования уплотненной оболочки вокруг котлована. Традиционно необходимое количество сухого грунта устанавливается только опытным путем в условиях строительной площадки. Такой подход, несмотря на его высокую достоверность, трудоемок и продолжителен во времени.

Исходя из изложенных доводов, можно утверждать, что разработка метода определения количества сухого грунта, необходимого для вытрамбовывания котлована или выштамповывания траншеи в водонасыщенном грунте является актуальным явлением. Наличие подобного достоверного инженерного метода позволит уже на стадии проектирования

устанавливать количество необходимого сухого грунта, без особых затрат времени и средств.

Методы и материалы. В настоящей работе рассмотрены два варианта решения задачи по определению количества сухого грунта, необходимого для внесения в водонасыщенный грунт. Задача решена применительно к процессу выштамповывания траншеи (котлована), но ее решения могут быть использованы и для случая вытрамбовывания котлованов.

В первом варианте основное уравнение задачи формируется исходя из равенства масс, а именно условно принимается, что масса грунтовой смеси, которая образуется в виде уплотненной оболочки вокруг траншеи (при выштамповывании), состоит из массы водонасыщенного и массы сухого грунтов (в перемешанном виде).

Во втором варианте основное уравнение задачи формируется исходя из равенства объемов, а именно условно принимается, что объем твердых частиц сухого грунта равен сумме объемов пор водонасыщенного и сухого грунтов.

Известно, что теоретически не представляется возможным, точно оценить какое количество водонасыщенного грунта будет вовлекаться в процесс его динамического перемешивания с сухим грунтом при выштамповывании траншеи. Учитывая данное обстоятельство, а также основные условия подготовки траншеи, при выводе основных зависимостей метода приняты следующие исходные предпосылки:

- водонасыщенный грунт, в котором выштамповывается траншея, залегает с поверхности площадки;
- выштамповывание траншеи в водонасыщенном грунте осуществляется через слой сухого грунта;
- объем водонасыщенного грунта, участвующего в процессе формирования уплотненной грунтовой оболочки вокруг траншеи, равен объему сухого грунта;
- сумма массы водонасыщенного грунта и массы сухого грунта равна массе уплотненной грунтовой смеси, из которой состоит уплотненная грунтовая оболочка;
- влажность уплотненной грунтовой оболочки равна, или близка к оптимальной влажности грунтовой смеси, а ее плотность – к максимальной плотности.

Перечисленные условия позволяют считать, что плотность грунтовой смеси, получаемой после механического (ударного) перемешивания сухого и водонасыщенного грунтов, формируется только за счет перераспределения части воды из водонасыщенного грунта в сухой грунт.

Результаты исследований. Первый вариант. Для данного варианта основное уравнение может быть записано в следующем виде:

$$m_{\text{в}} + m_{\text{с}} = m_{\text{см}}, \tag{1}$$

где: $m_{\text{в}}$- масса водонасыщенного грунта; $m_{\text{с}}$- масса сухого грунта; $m_{\text{см}}$ - масса уплотненной грунтовой смеси с оптимальной влажностью.

Выражая массу грунта через ее плотность и объем, уравнение (1) можно представить в виде:

$$\rho_{\text{в}} V_{\text{в}} + m_{\text{с}} = \rho_{\text{см}} V_{\text{см}}, \tag{2}$$

где: $\rho_{\text{в}}$,$V_{\text{в}}$- соответственно плотность и объем водонасыщенного грунта; $\rho_{\text{см}}, V_{\text{см}}$- соответственно плотность и объем грунтовой смеси.

Из уравнения (2) можно получить формулу по определению массы сухого грунта в следующем виде:

$$m_{\text{с}} = \rho_{\text{см}} V_{\text{см}} - \rho_{\text{в}} V_{\text{в}}, \tag{3}$$

Учитывая, что объем водонасыщенного грунта $V_{\text{в}}$ равен объему сухого грунта $V_{\text{с}}$, формула (3) может быть представлена в виде:

$$m_{\text{с}} = (2\rho_{\text{см}} - \rho_{\text{в}}) V_{\text{с}}, \tag{4}$$

Выражая плотность грунта через плотность грунта в сухом состоянии, а также учитывая, что после выштамповывания траншеи, влажность смеси должна достичь оптимальной влажности, а ее плотность в сухом состоянии – максимальной плотности, формулу (4) можно преобразовать в следующий вид:

$$m_{\text{с}} = [2\rho_{d,\text{см},max}(1 + W_{o,\text{см}}) - \rho_{d,\text{в}}(1 + W_{\text{в}})] V_{\text{с}}, \tag{5}$$

где: $\rho_{d,\text{см},max}$ – максимальная плотность грунтовой смеси в сухом состоянии; $W_{o,\text{см}}$ - оптимальная влажность грунтовой смеси; $W_{\text{в}}$- влажность водонасыщенного грунта; $\rho_{d,\text{в}}$ - плотность водонасыщенного грунта в сухом состоянии.

В формуле (5) оптимальная влажность смеси $W_{o,\text{см}}$ и ее максимальная плотность в сухом состоянии $\rho_{d,\text{см},max}$ устанавливаются на основе лабораторных опытов в соответствии с требованиями стандарта [12]. Влажность водонасыщенного грунта $W_{\text{в}}$ определяется согласно требований стандарта [13].

Объем сухого грунта в данной формуле можно определять по следующей формуле:

$$V_{\text{с}} = \varepsilon \text{A}_c h_{\text{с}}, \tag{6}$$

где: $\text{A}_{\text{с}}$, $h_{\text{с}}$,- соответственно площадь и толщина сухого грунта, подстилаемого поверху водонасыщенного грунта; ε - коэффициент, определяющий долю объема сухого грунта, вносимого в водонасыщенный грунт от его первоначального объема.

Коэффициент ε в формуле (6) меньше 1,0, так как не весь объем слоя сухого грунта, уложенного поверху водонасыщенного грунта, участвует в формировании уплотненной оболочки, вокруг траншеи при ее подготовке.

С учетом формулы (6) и коэффициента ε формула (5) окончательно может быть представлена в следующем виде:

$$m_{\text{с}} = [2\rho_{d,\text{см},max}(1 + W_{o,\text{см}}) - \rho_{d,\text{в}}(1 + W_{\text{в}})] \varepsilon \text{A}_c h_{\text{с}}, \tag{7}$$

Второй вариант. К ранее принятым исходным предпосылкам, дополнительно примем, что сумма объема пор водонасыщенного и объема пор сухого грунтов равна объему твердых частиц сухого грунта.

Из этого следует, что твердые частицы сухого грунта при его принудительном перемешивании с водонасыщенным грунтом заполняют объем пор, в которых часть заполнена поровой водой. Это относится к объему пор, как самого сухого грунта, так и к объему пор водонасыщенного грунта. Исходя из принятого допущения, можно записать следующее уравнение:

$$(V_{\text{в}}^{\text{п}} + V_{\text{в}w}^{\text{п}}) + (V_c^{\text{п}} + V_{\text{с}w}^{\text{п}}) = V_{\text{с}}^{\text{тв}}, \quad (7)$$

где: $V_{\text{в}}^{\text{п}}$- объем пустот в порах водонасыщенного грунта; $V_c^{\text{п}}$- объем пустот в порах сухого грунта; $V_{\text{в}w}^{\text{п}}$- объем воды в порах водонасыщенного грунта; $V_{\text{с}w}^{\text{п}}$- объем воды в порах сухого грунта; $V_{\text{с}}^{\text{тв}}$ - объем твердых частиц сухого грунта.

Равенство (7) можно представить в виде формулы (8), а затем и в виде формулы (9).

$$(V_{\text{в}}^{\text{п}} + V_c^{\text{п}}) + (V_{\text{в}w}^{\text{п}} + V_{\text{с}w}^{\text{п}}) = V_{\text{с}}^{\text{тв}}, \quad (8)$$

$$V_{\text{см}}^{\text{п}} + V_{\text{см}w}^{\text{п}} = V_{\text{с}}^{\text{тв}}, \quad (9)$$

где: $V_{\text{см}}^{\text{п}}$- объем пустот в порах грунтовой смеси; $V_{\text{см}w}^{\text{п}}$- объем воды в порах грунтовой смеси.

Примем следующие соотношения [14]:

$$V_{\text{см}w}^{\text{п}} = S_{r,\text{см}} V_{\text{см}}^{\text{пор}}, \quad (10)$$

$$V_{\text{см}}^{\text{п}} = \mu V_{\text{см}}^{\text{пор}}, \quad (11)$$

$$V_{\text{с}}^{\text{тв}} = m_{\text{с}}^{\text{тв}} / \rho_{s\text{см}}, \quad (12)$$

где: $S_{r,\text{см}}$- степень влажности грунтовой смеси; $V_{\text{см}}^{\text{пор}}$ – объем пор грунтовой смеси; μ - коэффициент, определяющий долю объема пустот в порах грунтовой смеси; $m_{\text{с}}^{\text{тв}}$- масса твердых частиц грунтовой смеси; $\rho_{s,\text{см}}$ - плотность твердых частиц смеси.

Учитывая соотношения (10)-(12) уравнение (9) можно преобразовать в следующий вид:

$$\mu V_{\text{см}}^{\text{пор}} + S_{r,\text{см}} V_{\text{см}}^{\text{пор}} = V_{\text{см}}^{\text{пор}} \left(\mu + S_{r,\text{см}}\right) = m_{\text{с}}^{\text{тв}} / \rho_{s\text{см}}, \quad (13)$$

Примем следующее отношение [14]:

$$V_{\text{см}}^{\text{пор}} = n_{\text{см}} V_{\text{см}}, \quad (14)$$

где: $n_{\text{см}}$ - пористость грунтовой смеси.

С учетом отношения (14) уравнение (13) можно записать в виде:

$$n_{\text{см}} V_{\text{см}} \left(\mu + S_{r,\text{см}}\right) = m_{\text{с}}^{\text{тв}} / \rho_{s,\text{см}}, \quad (15)$$

Из уравнения (15) можно получить формулу по определению массы твердых частиц сухого грунта в следующем виде:

$$m_{\text{с}}^{\text{тв}} = \rho_{s,\text{см}} n_{\text{см}} V_{\text{см}} (\mu + S_{r,\text{см}}), \quad (16)$$

В данной формуле плотность твердых частиц $\rho_{s,\text{см}}$, пористость $n_{\text{см}}$ и степень влажности $S_{r,\text{см}}$ смеси предварительно устанавливаются соответственно по формулам (16), (17) и (18) [14]:

$$\rho_{s,\text{см}} = (\rho_{s\text{в}} + \rho_{s\text{с}})/2, \quad (17)$$

$$n_{\text{см}} = e_{\text{см}}/(1 + e_{\text{см}}), \quad (18)$$

$$S_{r,\text{см}} = W_{o,\text{см}} \rho_{s,\text{см}} / e_{\text{см}} \rho_w, \quad (19)$$

$$e_{\text{см}} = (\rho_{s,\text{см}} - \rho_{d,\text{см},max})/\rho_{d,\text{см},max}, \quad (20)$$

где: $e_{\text{см}}$ - коэффициент пористости грунтовой смеси.

Коэффициент μ в формуле (16) будет всегда меньше 1,0 и может быть установлен из уравнения (21) в виде выражения (22)

$$(V_{\text{см}w}^{\text{п}}/V_{\text{см}}^{\text{пор}}) + (V_{\text{см}}^{\text{п}}/V_{\text{см}}^{\text{пор}}) = (S_{r,\text{см}} + \mu) = 1, \quad (21)$$

$$\mu = (1 - S_{r,\text{см}}), \quad (22)$$

Учитывая исходные предпосылки, относящиеся к массе и объему перемешивающихся грунтов и самой смеси, объем смеси в формуле (16) можно установит по следующей формуле:

$$V_{\text{см}} = (\rho_{\text{в}} + \rho_{\text{с}}) V_{\text{с}} / \rho_{d,\text{см},max} (1 + W_{o,\text{см}}), \quad (23)$$

В формуле (23) объем сухого грунта предварительно определяется по формуле (6).

Обсуждение результатов исследований. Для количественной оценки уровня соответствия формул (7) и (16) друг другу выполнены соответствующие расчеты. Исходные данные к расчетам представлены в таблице 1. При этом принято, что выштамповывание траншеи производится в водонасыщенной супесчаной толще, а в качестве сухого грунта используется сухой суглинок.

Таблица 1

Исходные данные для расчетов по формулам (7) и (16)

Параметры	Обозначения параметров	Значения параметров для расчетных вариантов	
		вариант 1	вариант 2
Максимальная плотность грунтовой смеси в сухом состоянии, т/м^3	$\rho_{d,\text{см},max}$	1,87	1,89
Оптимальная влажность грунтовой смеси	$W_{o,\text{см}}$	0,16	0,17
Плотность водонасыщенного грунта в сухом состоянии, т/м^3	$\rho_{d,\text{в}}$	1,59	1,62

Влажность водонасыщенного грунта	$W_в$	0,34	0,36
Плотность твердых частиц водонасыщенного грунта, т/м^3	$\rho_{sв}$	2,71	2,71
Площадь сухого грунта, подстилаемого поверху водонасыщенного грунта, м^2	A_c	0,25	0,36
Толщина сухого грунта, подстилаемого поверху водонасыщенного грунта, м	h_c	0,20 м	0,30 м
Плотность твердых частиц сухого грунта, т/м^3	ρ_{sc}	2,73	2,73
Плотность сухого грунта в сухом состоянии, т/м^3	$\rho_{d,c}$	1,51	1,53
Влажность сухого грунта	W_c	0,05	0,07
Коэффициент, определяющий долю объема сухого грунта, вносимого в водонасыщенный грунт	ε	0,8	0,8

Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчетов по формулам (7) и (16)

Параметры	Обозначения параметров	Значения параметров для расчетных вариантов	
		вариант 1	вариант 2
Масса сухого грунта по формуле (7), кг	m_c	88,3	191,7
Масса твердых частиц сухого грунта по формуле (16), кг	$m_c^{тв}$	55,8	124,4

Из таблицы 2 следует, что результаты, полученные по формулам (7) и (16) значительно отличаются друг от друга, и разница между ними составляет 35,1-36,8%. Для проверки их достоверности необходимо провести экспериментальные исследования.

Заключение. На основе изложенных результатов теоретических исследований можно сделать следующие основные выводы:

1. Исходные уравнения, принятые для решения задачи по определению количества сухого грунта, необходимого для выштамповывания траншеи в водонасыщенном грунте, составлены на основе принципа равенства масс и принципа равенства объемов;

2. Формула (7) выведена на основе принципа равенства масс, который допускает, что масса грунтовой смеси, которая образуется в виде уплотненной оболочки вокруг траншеи (при выштамповывании), состоит из массы водонасыщенного грунта и массы сухого грунта (в перемешанном виде);

3. Формула (16) выведена на основе принципа равенства объемов, который допускает, что объем твердых частиц сухого грунта равен сумме объемов пор водонасыщенного и сухого грунтов;

4. Формулы (7) и (16) позволят определять количество сухого грунта с учетом ряда физических параметров самого сухого грунта, водонасыщенного грунта и уплотненной грунтовой смеси, которая образуется из первых двух указанных грунтов;

5. Формулы (7) и (16) ввиду разности принципов, использованных для их теоретического вывода, позволяют получать неодинаковые результаты, достоверность которых подлежит экспериментальной проверке.

Список литературы

1. Руководство по производству и приемке работ при устройстве оснований и фундаментов [Текст]. – М.: Стройиздат, 1977. – 241 с.
2. Руководство по проектированию и устройству фундаментов в вытрамбованных котлованах [Текст]. – М.: Стройиздат, 1981. – 56 с.
3. Федоров, В.И. Опыт устройства фундаментов в вытрамбованных котлованах в Приморском крае [Текст] / В.И. Федоров, Ю.С. Тонких, Г.А. Иншин // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1989. - №4. – С.4-5.
4. ВСН 67-257-87. Руководство по устройству фундаментов в вытрамбованных котлованах с использованием навесного оборудования УВ-1, УВК-40А, ОВК-100 [Текст]. –Уфа: Уфимский НИИпромстрой, 1987. – 66 с.
5. Крутов, В.И. Уплотнение грунтов на строительстве в Набережных Челнах [Текст] / В.И. Крутов, Н.Б. Левонтин, М.Ш. Бибишев, И.Ф. Мухрыгин // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1981 - №4. – С.4-7.
6. Рабинович, И.Г. Возведение фундаментов в вытрамбованных котлованах на песчаных грунтах в промышленном строительстве [Текст] / И.Г. Рабинович, Д.И. Константиновский, М.А. Арпаксыд, Е.В. Третьякова, И.И. Проценко // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1982. - №5. – С.10-12.
7. ВСН 48-88. Обязательные технологии устройства фундаментов в вытрамбованных котлованах [Текст]. - Алма-Ата: НПО «Союзспецфундаменттяжстрой», 1988. – 53 с.
8. Унайбаев, Б.Ж. Фундаменты в вытрамбованных котлованах с защитной оболочкой в засоленных, просадочных, лессовых грунтах [Текст] / Б.Ж. Унайбаев, В.А. Волков // Тезисы докладов Всесоюзной конференции по лессовым просадочным грунтам как основаниям сооружений. – Барнаул, 1990. – Книга 2. –Часть 2. – С.206-207.
9. Рекомендации по проектированию и устройстве фундаментов в засоленных грунтах в вытрамбованном ложе в защитной оболочке. – Астана: ЕНУ им. Гумилева, 2001. – 59 с.
10. Унайбаев, Б.Ж. Возведение зданий и сооружений на засоленных агрессивных грунтах [Текст] / Б.Ж. Унайбаев // Труды КазНИИССА / Исследование сейсмостойкости сооружений и конструкций. – Алматы, 2001. С.95-101.
11. Крутов, В.И. Фундаменты в вытрамбованных котлованах на водонасыщенных глинистых грунтах [Текст] / В.И. Крутов, И.Г. Рабинович, А.И. Филатов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1980. - №5. – С.9-11.
12. МГС ГОСТ 22733-2016. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2016. – 15 с.
13. МГС ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2005. – 19 с.
14. Силкин, А.М. Основания и фундаменты [Текст]: учебное пособие / А.М. Силкин, Н.Н. Фролов. – М.: Издательство «Колос», 1981. – 351 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 20.03.26, принят 27.03.26.

И.И. Бекбасаров[1], Е.И. Атенов[1], Н.А. Шаншабаев[1]

[1]М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан

СУҒА ҚАНЫҚҚАН ТОПЫРАҚТАҒЫ ТРАНШЕЯЛАРДЫ ШТАМПТАУ ҮШІН ҚАЖЕТ ҚҰРҒАҚ ТОПЫРАҚТЫҢ МӨЛШЕРІН АНЫҚТАУ

Аңдатпа. Суға қаныққан топырақта траншеяны штамптау үшін қажетті құрғақ топырақтың мөлшерін анықтау мәселесін шешудің нәтижелері келтірілген. Бастапқы теңдеулер масса теңдігі принципі мен көлем теңдігі принципі негізінде жасалды. Масса теңдігі принципі траншеяның айналасында тығыздалған қабық түрінде пайда болатын топырақ қоспасының массасы (штамптау кезінде) суға қаныққан топырақтың массасынан және құрғақ топырақтың массасынан (аралас түрінде) тұратындығын ескереді. Көлем теңдігі принципі құрғақ топырақтың қатты бөлшектерінің көлемі сумен қаныққан және құрғақ топырақ кеуектерінің көлемінің қосындысына тең екендігін ескереді. Құрғақ топырақтың мөлшерін ең құрғақ топырақтың физикалық параметрлерін, сумен қаныққан топырақты және көрсетілген алғашқы екі топырақтан пайда болатын тығыздалған топырақ қоспасын ескере отырып анықтауға мүмкіндік беретін формулалар алынды. Формулалар тең емес нәтижелерге қол жеткізуге мүмкіндік береді және эксперименттік тексеруді қажет етеді.

Тірек сөздер: сумен қаныққан топырақ, құрғақ топырақ, топырақ қоспасы, массасы, көлемі, тығыздығы, ылғалдылығы, кеуектілігі, максималды тығыздығы, оңтайлы ылғалдылығы.

I.I. Bekbasarov[1], Y.I. Atenov[1], N.A. Shanshabaev[1]

[1]M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan

DETERMINATION OF THE AMOUNT OF DRY SOIL REQUIRED FOR STAMPING TRENCHES IN WATER-SATURATED SOIL

Abstract. The results of solving the problem of determining the amount of dry soil required for stamping a trench in a water-saturated soil are presented. The initial equations are based on the principle of equality of masses and the principle of equality of volumes. The principle of mass equality allows that the mass of the soil mixture, which is formed as a compacted shell around the trench (during stamping), consists of a mass of water-saturated soil and a mass of dry soil (mixed). The principle of volume equality assumes that the volume of solid particles in dry soil is equal to the sum of the pore volumes of saturated and dry soils. Formulas have been obtained that will allow determining the amount of dry soil, taking into account a number of physical parameters of the driest soil, water-saturated soil and compacted soil mixture, which is formed from the first two specified soils. The formulas allow to obtain different results, and are subject to experimental verification.

Keywords: water-saturated soil, dry soil, soil mixture, mass, volume, density, humidity, porosity, maximum density, optimal humidity.

References

1. Rukovodstvo po proizvodstvu i priyemke rabot pri ustroystve osnovaniy i fundamentov [Guide to the Production and Acceptance of Work in the Construction of Foundations and Bases]. – Moscow: Stroyizdat, 1977. – 241 p. [in Russian].

2. Rukovodstvo po proyektirovaniyu i ustroystvu fundamentov v vytrambovannykh kotlovanakh [Guide to the Design and Construction of Foundations in Rammed Pits]. – Moscow: Stroyizdat, 1981. – 56 p. [in Russian].
3. Fedorov V.I., Tonkikh Yu.S., Inshin G.A. Opyt ustroystva fundamentov v vytrambovannykh kotlovanakh v Primorskom kraye [Experience in the Construction of Foundations in Rammed Pits in Primorsky Krai] // Foundations, Bases and Soil Mechanics. – 1989. - No. 4. – P. 4-5. [in Russian].
4. VSN 67-257-87 Rukovodstvo po ustroystvu fundamentov v vytrambovannykh kotlovanakh s ispol'zovaniyem navesnogo oborudovaniya UV-1, UVK-40A, OVK-100 [VSN 67-257-87. Guide to the construction of foundations in rammed trenches using attachments UV-1, UVK-40A, OVK-100]. - Ufa: Ufa Research Institute of Industrial Construction, 1987. - 66 p. [in Russian].
5. Krutov V.I., Levontin N.B., Bibishev M.Sh., Mukhrygin I.F. Uplotneniye gruntov na stroitel'stve v Naberezhnykh Chelnakh [Soil compaction during construction in Naberezhnye Chelny] // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov [Foundations, Bases and Soil Mechanics]. - 1981 - No. 4. - P. 4-7. [in Russian].
6. Rabinovich I.G., Konstantinovsky D.I., Arpaksyd M.A., Tretyakova E.V., Protsenko I.I. Vozvedeniye fundamentov v vytrambovannykh kotlovanakh na peschanykh gruntakh v promyshlennom stroitel'stve [Construction of foundations in rammed trenches on sandy soils in industrial construction] // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov [Foundations, Bases and Soil Mechanics]. - 1982. - No. 5. - P. 10-12. [in Russian].
7. VSN 48-88. Obyazatel'nyye tekhnologii ustroystva fundamentov v vytrambovannykh kotlovanakh [VSN 48-88. Mandatory technologies for the construction of foundations in rammed trenches]. - Alma-Ata: NPO Soyuzspetsfundamenttyazhstroy, 1988. - 53 p. [in Russian].
8. Unaibayev B.Zh., Volkov V.A. Fundamenty v vytrambovannykh kotlovanakh s zashchitnoy obolochkoy v zasolennykh, prosadochnykh, lessovykh gruntakh [Foundations in rammed trenches with a protective shell in saline, subsidence, loess soils] // Abstracts of reports of the All-Union Conference on loess subsidence soils as foundations of structures. – Barnaul, 1990. – Book 2. – Part 2. – P.206-207. [in Russian].
9. Rekomendatsii po proyektirovaniyu i ustroystve fundamentov v zasolennykh gruntakh v vytrambovannom lozhe v zashchitnoy obolochke [Recommendations for the design and construction of foundations in saline soils in a rammed bed in a protective shell]. – Astana: ENU named after Gumilyov, 2001. – 59 p. [in Russian].
10. Unaibayev B.Zh. Vozvedeniye zdaniy i sooruzheniy na zasolennykh agressivnykh gruntakh [Construction of buildings and structures on saline aggressive soils] // Proceedings of KazNIISSA / Study of seismic resistance of structures and constructions. – Almaty, 2001. P.95-101. [in Russian].
11. Krutov V.I., Rabinovich I.G., Filatov A.I. Fundamenty v vytrambovannykh kotlovanakh na vodonasyshchennykh glinistykh gruntakh [Foundations in rammed pits on water-saturated clayey soils] // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov [Foundations, Bases and Soil Mechanics]. 1980, No. 5, pp. 9–11. [in Russian].
12. MGS GOST 22733-2016. Grunty. Metod laboratornogo opredeleniya maksimal'noy plotnosti [MGS GOST 22733-2016. Soils. Laboratory Method for Determining Maximum Density]. Moscow: Standartinform, 2016, 15 p. [in Russian].
13. MGS GOST 5180-84. Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya fizicheskikh kharakteristik [MGS GOST 5180-84. Soils. Laboratory Methods for Determining Physical Characteristics]. Moscow: Standartinform, 2005, 19 p. [in Russian].
14. Silkin A.M., Frolov N.N. Osnovaniya i fundamenty [Foundations and Bases]: Textbook. Moscow: Kolos Publishing House, 1981, 351 p. [in Russian].

ҒТАМР 67.21.17 : 67.21.15

Г.М. Отарбаева[1] – *негізгі автор*,
Д.Ж. Артықбаев[2], Ж. Бердалиева[3],
М.Т. Куттыбай[4], Ж.А. Үсенқұлов[5]

©

[1]Докторант, [2]PhD, доцент, [3]Оқытушы, [4]PhD,
[5]Техн. ғылым. канд., профессор

ORCID
[1]https://orcid.org/0009-0001-2401-9457 [2]https://orcid.org/0000-0003-4794-8707
[3]https://orcid.org/0009-0003-5477-5151 [4]https://orcid.org/0009-0004-3980-9445
[5]https://orcid.org/0000-0002-2609-1671

[1]әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
[2,4,5]М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті, Шымкент, Қазақстан
[3]Қазақ бас сәулет-құрылыс академиясы, Алматы, Қазақстан

@ *[2]artykbaev_d@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/RFEP5134

КАСПИЙ ҮСТІРТІ АУМАҒЫНДАҒЫ ЖЕР БЕТІНІҢ ДЕФОРМАЦИЯЛЫҚ ЫҒЫСУЛАРЫНЫҢ ГЕОДИНАМИКАЛЫҚ АЛҒЫШАРТТАРЫ

Аңдатпа. Мақалада Каспий үстірті аумағында жер бетінің қазіргі заманғы деформациялық ығысуларының қалыптасуының геодинамикалық алғышарттары қарастырылады. Зерттеу деформациялық процестердің кеңістіктік-уақыттық ерекшеліктерін сипаттайтын геологиялық, құрылымдық-тектоникалық және инженерлік-геодезиялық деректерді кешенді талдауға негізделген. Деформациялық ығысуларының сандық бағасын жүргізу үшін тік және көлденең ығысуларды миллиметрлік дәлдікпен анықтауды қамтамасыз ететін спутниктік радарлық интерферометрия (InSAR) және ғаламдық навигациялық спутниктік жүйелер (GNSS) деректері пайдаланылды. Деформация жылдамдықтарының карталары мен уақыттық қатарларын талдау деформациялық өрістің айқын кеңістіктік әртектілігін және жер бетінің жекелеген учаскелерінде үдемелі шөгу процесін көрсететін тік ығысулардың орнықты төмендеуші трендтерінің бар екенін анықтады. Деформациялардың ең жоғары жылдамдықтары тұзды күмбездердің дамыған аймақтарына және тектоникалық бұзылыстарға тән екені, сондай-ақ сыртқы табиғи және техногендік факторлардың әсерінен күшейетіні анықталды. Алынған нәтижелер баяу геодинамикалық процестерді мониторингтеуде InSAR және GNSS әдістерін кешенді қолданудың тиімділігін растайды және оларды Каспий үстірті аумағындағы геодинамикалық тәуекелдерді бағалау, инженерлік құрылыстар мен мұнай-газ инфрақұрылымы нысандарын жобалау және пайдалану барысында қолдануға мүмкіндік береді.

Тірек сөздер: геодинамика, деформациялық ығысулар, Каспий үстірті, тұзды тектоника, жер беті, InSAR, GNSS, инженерлік-геодезиялық мониторинг, шөгінді жамылғы, геодинамикалық тәуекелдер.

Отарбаева, Г.М. Каспий үстірті аумағындағы жер бетінің деформациялық ығысуларының геодинамикалық алғышарттары [Мәтін] / Г.М. Отарбаева, Д.Ж. Артықбаев, Ж. Бердалиева, М.Т. Куттыбай, Ж.А. Үсенқұлов //Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.307-318. https://doi.org/10.55956/RFEP5134

Кіріспе. Каспий үстірті геодинамикалық тұрғыдан күрделі аймақтардың қатарына жатады, оған қалың шөгінді жамылғының болуы, тұзды тектониканың кең дамуы және қазіргі заманғы деформациялық үдерістердің қатар жүруі тән. Солтүстік Каспий аумағында жер бетінің аймақтық деңгейдегі тік қозғалыстарымен қатар, біркелкі емес шөгулер, көтерілу құбылыстары және көлденең ығысулар түрінде көрінетін жергілікті деформациялық жылжулар байқалады. Мұндай деформациялар инженерлік құрылыстар мен мұнай-газ инфрақұрылымы нысандары үшін әлеуетті қауіп төндіреді [1,2].

Жер бетінің қазіргі деформацияларының геодинамикалық алғышарттары едәуір дәрежеде Каспий бассейнінің құрылымдық-тектоникалық эволюциясымен анықталады. Бассейннің қалыптасуы барысында қалың тұзды және терригендік шөгінді қабаттардың жиналуы орын алып, бұл тұзды-күмбезді тектониканың кеңінен дамуына әкелді. Айқын реологиялық қасиеттерге ие тұзды құрылымдар шөгінді жамылғыдағы кернеулердің қайта бөлінуіне және жергілікті шоғырланған деформация аймақтарының қалыптасуына елеулі әсер етеді, ал мұндай деформациялар жер бетіне дейін таралуы мүмкін [3,4].

Аймақтың қазіргі кернеулі-деформацияланған күйі ішкіплиталық үдерістердің, сондай-ақ альпілік-гималайлық орогендік белдеудің қашықтан әсер етуінің ықпалымен қалыптасады. Оңтүстік және Солтүстік Каспий маңындағы тектоникалық кернеу өрістерін зерттеу нәтижелері құрылымдық әртектіліктер мен жарылымдық бұзылыстар аймақтарында әсіресе айқын байқалатын, баяу, бірақ ұзақ мерзімді жер беті жылжуларын қоздыруға қабілетті тұрақты деформациялық режимдердің бар екенін көрсетеді [5].

Деформациялық үдерістердің сипатына табиғи-климаттық факторлар, ең алдымен Каспий теңізі деңгейінің ауытқулары елеулі әсер етеді. Теңіз деңгейінің өзгеруі жүктемелердің қайта бөлінуіне, гидрогеологиялық жағдайлардың және жер бетіне жақын грунттардағы кеуекті қысымның өзгеруіне әкеледі, бұл Каспий үстіртіне іргелес аумақтарда шөгу және деформациялық үдерістердің белсенденуіне ықпал етуі мүмкін [6].

Соңғы жылдары Каспий аймағындағы қазіргі деформациялық жылжуларды зерттеуге спутниктік радиолокациялық интерферометрияға (InSAR) және жаһандық навигациялық спутниктік жүйелерге (GNSS) негізделген инженерлік-геодезиялық мониторинг әдістері айтарлықтай үлес қосты. Аталған әдістер деформациялардың кеңістікте таралған өрістерін миллиметрлік дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді және жер бетінің табиғи әрі техногендік факторлармен шартталған жылжуларын сандық тұрғыдан бағалауды қамтамасыз етеді [7].

Геодезиялық және геофизикалық деректердің ауқымды қорының болуына қарамастан, байқалатын деформациялық жылжуларды аймақтық геодинамика және тұзды-тектоникалық механизмдер тұрғысынан түсіндіру мәселелері әлі де жеткілікті түрде жүйеленбеген. Бұл жағдай Каспий үстіртіндегі жер беті деформацияларының геодинамикалық алғышарттарын өңірдің терең құрылымын, қазіргі кернеулі күйін және инженерлік-геодезиялық бақылаулар нәтижелерін ескере отырып, кешенді талдау қажеттігін айқындайды.

Осы ғылыми-зерттеу мақаласының мақсаты – қазіргі геологиялық, тектоникалық және геодезиялық деректерді талдау негізінде Каспий үстіртіндегі жер бетінің деформациялық жылжуларының геодинамикалық

алғышарттарын негіздеу және байқалатын деформациялардың қалыптасу механизмдерін анықтау болып табылады.

Зерттеу шарттары мен әдістері. *Зерттеу материалдары*. Зерттеу материалдары ретінде Каспий үстіртіндегі жер бетінің қазіргі деформациялық үдерістерін сипаттайтын геологиялық, геодинамикалық және инженерлік-геодезиялық деректерді кешенді талдау нәтижелері пайдаланылды. Жұмыстың негізіне Солтүстік Каспий бассейнінің құрылымы, тұзды-тектоникалық құрылымдар және өңірдің қазіргі кернеулі-деформацияланған күйі бойынша жарияланған деректер [1-4], сондай-ақ заманауи зерттеулерде келтірілген спутниктік және жерүсті геодезиялық бақылаулардың нәтижелері алынды [5-7].

Бастапқы геодинамикалық ақпарат ретінде төмендегілер қолданылды:

– шөгінді жамылғының тереңдік құрылысы және тұзды күмбездердің таралуы туралы деректер;

– аймақтық тектоникалық кернеулер жөніндегі мәліметтер;

– Жерді қашықтан зондтау материалдары (InSAR);

– GNSS-бақылауларының және жерүсті геодезиялық өлшеулердің деректері.

Зерттеу әдістері.

Геодинамикалық және құрылымдық-тектоникалық талдау. Деформациялық жылжулардың геодинамикалық алғышарттарын анықтау үшін құрылымдық-тектоникалық талдау әдісі қолданылды. Бұл әдіс терең орналасқан тұзды-тектоникалық құрылымдарды жер беті деформацияларының кеңістіктік таралуымен салыстыруға негізделген [3,4]. Ерекше назар тектоникалық бұзылыстар аймақтарына және тұзды күмбездердің даму облыстарына аударылды, себебі олар жер бетінде локализацияланған деформациялардың ықтимал көздері ретінде қарастырылады.

Аймақтың кернеулі-деформацияланған күйін бағалау жер сілкінісі ошақтарының механизмдері мен геофизикалық модельдер негізінде алынған тектоникалық кернеу өрістері туралы жарияланған деректерге сүйене отырып жүргізілді [5].

Деформацияларды инженерлік-геодезиялық мониторингтеу. Жер бетінің деформациялық жылжуларын сандық тұрғыдан бағалау спутниктік радиолокациялық интерферометрия (InSAR) және жаһандық навигациялық спутниктік жүйелердің (GNSS) деректерін қолдану арқылы жүзеге асырылды, бұл баяу деформациялық үдерістерді мониторингтеудің қазіргі заманғы тәсілдеріне сәйкес келеді [7].

Жер бетінің тік және көлденең жылжулары келесі өрнектер бойынша анықталды:

$$\Delta \mathrm{h} = \mathrm{h_t} - \mathrm{h_0} \quad (1)$$

$$\Delta x = x_t - x_0 \quad (2)$$

$$\Delta y = y_t - y_0 \quad (3)$$

мұндағы $\mathrm{h_0}, x_0, y_0$ – бастапқы уақыт мезетіндегі нүктенің координаттары; $\mathrm{h_t}, x_t, y_t$ – қайталама бақылау сәтіндегі координаттар.

Деформация жылдамдықтары келесі формула бойынша есептелді:

$$\vartheta = \frac{\Delta d}{\Delta t} \quad (4)$$

мұндағы Δd – жылжу шамасы; Δt – өлшеулер арасындағы уақыт аралығы.

InSAR-деректерін өңдеу. Кеңістікте таралған деформацияларды талдау үшін тұрақты шағылдырғыштар әдісімен (PS-InSAR) алынған интерферометриялық уақыттық қатарлар пайдаланылды. Интерферометриялық фаза φ\varphiφ келесі түрде өрнектеледі:

$$\varphi = \varphi_{def} + \varphi_{topo} + \varphi_{atm} + \varphi_{noise} \quad (5)$$

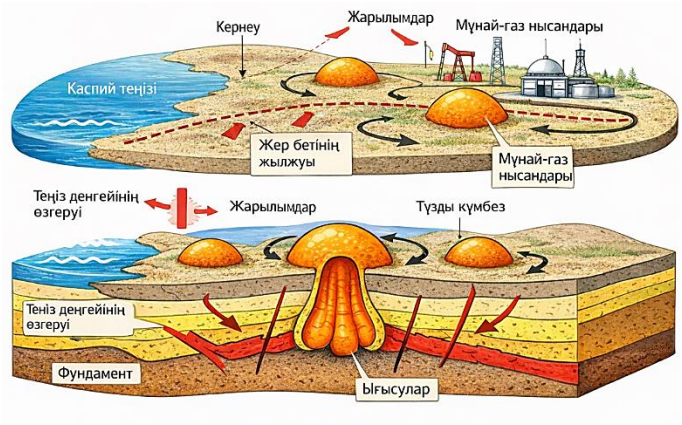
мұндағы φ_{def} – жер беті деформацияларымен шартталған фаза; φ_{topo} – топографиялық құрамдас бөлік; φ_{atm} – атмосфералық құрамдас бөлік; φ_{noise} – шу (кездейсоқ қателіктер) құрамдасы.

Деформациялық құрамдас бөлікті бөліп көрсету фазалық өлшеулерді сүзгілеу және уақыттық талдау арқылы жүзеге асырылды, бұл жылжуларды анықтау дәлдігін 1-2 мм-ге дейін жеткізуге мүмкіндік береді [7].

Кесте 1

Қолданылған әдістер және олардың сипаттамалары

Зерттеу әдісі	Анықталатын параметрлер	Кеңістіктік ауқым	Дәлдік
GNSS-бақылаулары	Тік және көлденең жылжулар	Жергілікті	1-3 мм
InSAR (PS)	Деформация өрістері	Аймақтық	1-2 мм
Құрылымдық талдау	Геодинамикалық алғышарттар	Аймақтық	Сапалық
Геодинамикалық модельдеу	Кернеулі күй	Аймақтық	Есептік



Сурет 1. Каспий үстіртіндегі деформациялық ығысулардың қалыптасуын айқындайтын геодинамикалық факторлардың сызбасы (тұзды күмбездер, жарылымдық аймақтар, шөгінді жамылғы)

1-сурет Каспий үстіртіндегі жер бетінің деформациялық ығысуларын қалыптастыратын негізгі геодинамикалық факторлардың сызбалық бейнесін көрсетеді. Сызбада өңірдің геологиялық құрылысының жоспарлық және қималық көріністері беріліп, тереңдік үдерістер мен олардың жер бетіндегі көріністері арасындағы өзара байланыс бейнеленген.

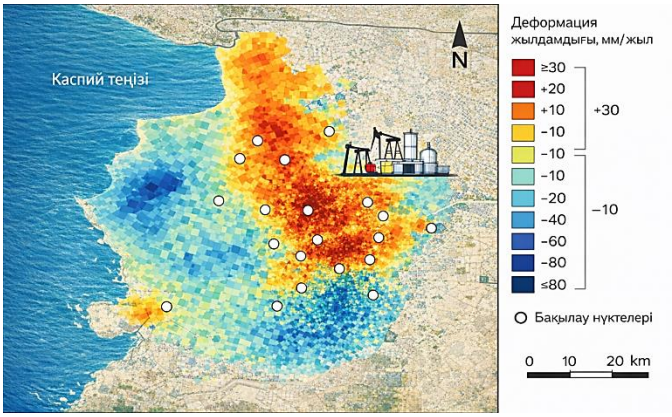
Қимада іргетастың үстінде жатқан шөгінді жамылғының құрылысы және тұзды күмбездердің дамуы көрсетілген. Реологиялық қасиеттерімен

ерекшеленетін тұзды құрылымдар жамылғы қабаттарында кернеулердің қайта бөлінуін туындататын белсенді құрылымдық элементтер ретінде әрекет етеді. Тұз массаларының жоғары бағытталған қозғалысы шөгінді жамылғының деформациялануына, созылу және сығылу аймақтарының қалыптасуына, сондай-ақ жер бетінің жергілікті ойыстары мен көтерілу құбылыстарының пайда болуына әкеледі.

Сызбада көрсетілген жарылымдық аймақтар тереңде орналасқан құрылымдардан жер бетіне дейін деформацияларды шоғырландыру және жеткізу арналарының рөлін атқарады. Олардың болуы деформациялық ығысулардың біркелкі еместігін және жоғары қозғалымдылық аймақтарының кеңістікте локализациялануын айқындайды. Жебелермен көрсетілген жылжу бағыттары тұзды-тектоникалық және аймақтық геодинамикалық үдерістердің өзара әрекеттесуі нәтижесінде туындайтын көлденең және тік деформациялардың сипатын көрсетеді.

Сызбаның жоғарғы бөлігінде Каспий теңізі деңгейінің ауытқулары және мұнай-газ нысандарының орналасуымен байланысты техногендік жүктеме сияқты сыртқы факторлардың әсері көрсетілген. Бұл факторлар жер бетіне жақын қабаттардың кернеулі-деформацияланған күйінің өзгеруіне әкеліп, табиғи деформациялық үдерістерді күшейтуі немесе олардың сипатын өзгертуі мүмкін.

Осылайша, ұсынылған сызба Каспий үстіртіндегі деформациялық ығысулардың қалыптасуы тұзды тектониканың, жарылымдық құрылымдардың, аймақтық кернеулердің және сыртқы табиғи-техногендік факторлардың бірлескен әсерімен анықталатынын айқын көрсетеді. Бұл жағдай инженерлік-геодезиялық мониторинг деректерін интерпретациялау және геодинамикалық тәуекелдерді бағалау кезінде ескерілуі қажет [1-4].



Сурет 2. InSAR деректері бойынша жер бетінің тік деформация жылдамдықтарының картасы

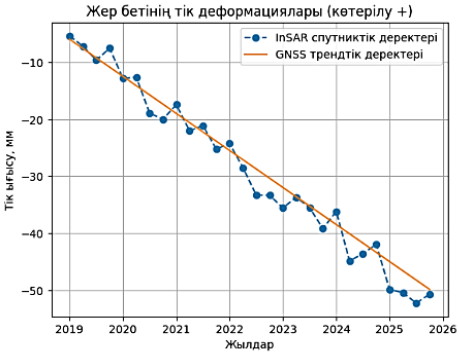
2-сурет спутниктік радиолокациялық интерферометрия (InSAR) деректері негізінде алынған Каспий үстірті аумағындағы жер бетінің тік деформация жылдамдықтарының кеңістіктік таралуын көрсетеді. Карта интерферометриялық өлшеулердің уақыттық қатарларын талдау негізінде құрастырылған және жер бетінің жылдық орташа жылжу жылдамдықтарын миллиметр/жыл бірлігінде бейнелейді.

Түстік шкала тік деформациялардың бағыты мен шамасын сипаттайды: теріс мәндер (көк–күлгін реңктер) жер бетінің шөгу аймақтарына сәйкес

келеді, ал оң мәндер (сары–қызыл реңктер) салыстырмалы көтерілу немесе компенсациялық деформациялар байқалатын аумақтарды көрсетеді. Ең жоғары шөгу жылдамдықтары зерттелген аумақтың орталық бөлігінде анықталған, мұнда тік жылжулардың мәндері ең үлкен теріс шамаларға жетеді. Бұл құбылыс тұзды-тектоникалық құрылымдардың дамуымен және техногендік әсерлермен байланысты болуы мүмкін.

Картада InSAR деректерін валидациялау және спутниктік өлшеулерді жерүсті GNSS-бақылауларымен салыстыру мақсатында пайдаланылатын инженерлік-геодезиялық мониторингтің бақылау нүктелері көрсетілген. Интенсивті деформация аймақтарының мұнай-газ нысандарының орналасуымен кеңістіктік сәйкестігі техногендік сипаттағы шөгулердің өңірдің табиғи геодинамикалық фонымен қабаттасу мүмкіндігін көрсетеді.

Деформациялық өрістің мозаикалық сипаты Каспий үстіртінің шөгінді жамылғысының құрылымдық әртектілігін, жарылымдық аймақтардың және кернеулердің қайта бөлінуінің жергілікті орталықтары ретінде әрекет ететін тұзды күмбездердің әсерін бейнелейді. Алынған нәтижелер InSAR әдістерінің жер бетінің баяу деформациялық үдерістерін анықтау мен талдаудағы жоғары ақпараттылығын және оларды инженерлік-геодезиялық бақылау міндеттерінде тиімді қолдануға болатынын растайды [7].



Сурет 3. Спутниктік мониторинг деректері бойынша бақылау нүктесінің тік ығысуларын сипаттайтын уақыттық қатар

3-сурет спутниктік InSAR мониторингі деректері негізінде алынған бақылау нүктесінің тік ығысуларын сипаттайтын уақыттық қатарды көрсетеді. Абсцисса осінде тоқсандық интервалмен берілген уақыт, ордината осінде – жер бетінің тік ығысулар шамасы миллиметрмен көрсетілген, мұнда теріс мәндер жер бетінің шөгуін, ал оң мәндер көтерілуін сипаттайды.

Уақыттық қатарды талдау тік ығысулардың орнықты төмендеуші трендін анықтайды, бұл бақылау нүктесі орналасқан аймақта жер бетінің үдемелі шөгу процесінің жүріп жатқанын дәлелдейді. Бақылаулардың бастапқы кезеңінде бірнеше миллиметрден аспайтын шамалы ығысулар тіркелсе, зерттелетін аралықтың соңына қарай шөгуінің жинақталған шамасы едәуір мәндерге жетеді. Бұл деформациялық процестің ұзақ мерзімді және квазисызықтық сипатқа ие екенін көрсетеді.

Графикте InSAR деректері бойынша алынған тік ығысулар мәндерімен қатар, жерүсті GNSS бақылаулары нәтижесінде тұрғызылған тегістелген трендтік қисық та ұсынылған. Спутниктік және жерүсті деректерінің жоғары

дәрежедегі сәйкестігі анықталған деформациялық трендтің сенімділігін және қолданылған мониторинг әдістемесінің дұрыстығын растайды.

Нүктелердің жалпы трендтік сызықтан жекелеген ауытқулары гидрогеологиялық жағдайлардың маусымдық өзгерістерімен, температура мен ылғалдылықтың ауытқуларымен, сондай-ақ спутниктік интерферометриялық әдістерге тән өлшеу қателіктерімен түсіндірілуі мүмкін. Дегенмен, уақыттық қатардың жалпы сипаты қысқа мерзімді тербелістерге қарағанда ұзақ кезеңді деформациялық процестердің басым екенін көрсетеді.

Алынған уақыттық қатар Каспий үстіртінде жер бетінің орнықты деформациялық ығысуларының бар екенін көрсетеді және ықтимал қауіпті геодинамикалық процестерді уақтылы анықтау мен болжау үшін тұрақты инженерлік-геодезиялық мониторинг жүргізудің қажеттілігін дәлелдейді [7].

Графиктер InSAR деректерінен алынған деформация жылдамдықтарының уақыттық қатарлары негізінде тұрғызылып, кейіннен аймақтың геодинамикалық және құрылымдық ерекшеліктерімен салыстырмалы талдау жүргізу арқылы өңделді.

Нәтижелердің сенімділігін бағалау. Деформациялық процестерді интерпретациялаудың сенімділігін арттыру мақсатында InSAR және GNSS деректерін өзара валидациялау қағидаты қолданылды. Тік ығысулардың бағыттарының және шамалар тәртібінің сәйкестігі анықталған деформациялық ығысулардың сенімділігін бағалаудың негізгі критерийі ретінде қарастырылды [6,7].

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Жүргізілген зерттеудің нәтижелері спутниктік радарлық интерферометрия (InSAR) деректерін, GNSS бақылауларын және құрылымдық-тектоникалық талдауды кешенді түрде өңдеуге негізделеді. Бұл тәсіл Каспий үстірті аумағындағы жер бетінің қазіргі заманғы деформациялық ығысуларының кеңістіктік-уақыттық заңдылықтарын анықтауға мүмкіндік берді [8-10].

Деформациялық ығысуларының кеңістіктік таралуы. Жер бетінің тік деформацияларының жылдамдық карталарын талдау (2-сурет) деформациялық өрістің айқын кеңістіктік әртектілігін көрсетті. Тік ығысулардың ең жоғары теріс жылдамдықтары (шөгу) зерттелетін аумақтың орталық және солтүстік-шығыс бөліктерінде тіркелді, мұнда орташа жылдық мәндер жылына бірнеше миллиметрге дейін жетеді [11,12].

Анықталған қарқынды шөгу аймақтары кеңістіктік тұрғыдан тұзды-күмбезді құрылымдардың дамыған өңірлерімен және жарылымдық зоналармен сәйкес келеді. Бұл жер бетінің қазіргі деформациялық процестерінің қалыптасуында тұзды тектониканың жетекші рөл атқаратынын дәлелдейді [9,10]. Ал белсенді құрылымдардан алшақ орналасқан аймақтарда деформациялар әлсіз байқалады және ығысу жылдамдықтары нөлге жуық мәндермен сипатталады.

Тік және көлденең ығысуларды сандық бағалау келесі өрнек бойынша орындалды:

$$\Delta d = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2} \quad (6)$$

мұндағы $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ – бақылау кезеңі аралығында нүкте координаталарының өзгерістері [13].

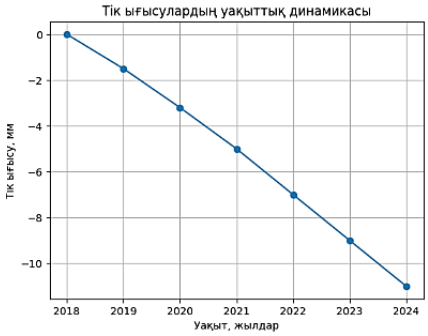
Деформациялық процестердің уақыттық динамикасы. InSAR деректері бойынша алынған бақылау нүктелерінің тік ығысуларын сипаттайтын уақыттық қатарлар (1-график) жер бетінің шөгу процесінің ұзақ

мерзімді және квазисызықтық сипатын көрсететін орнықты төмендеуші трендтің бар екенін дәлелдейді [12,14]. Орташа деформация жылдамдықтары келесі формула бойынша анықталды:

$$\vartheta = \frac{\Delta d}{\Delta t} \quad (7)$$

мұндағы Δd – ығысу шамасы, Δt – өлшеулер арасындағы уақыт интервалы [13].

Спутниктік деректерді GNSS бақылауларының нәтижелерімен салыстыру ығысулардың бағыттары мен шамаларының жоғары деңгейдегі сәйкестігін көрсетті, бұл анықталған деформациялық трендтердің сенімділігін растайды [14]. Жалпы трендтен жекелеген қысқа мерзімді ауытқулар гидрогеологиялық жағдайлардың маусымдық тербелістерімен және жер бетіне жақын грунттардағы кеуек қысымының өзгеруімен байланысты болуы мүмкін [11].



Сурет 4. InSAR және GNSS деректері бойынша жер бетінің тік деформацияларының уақыттық динамикасы

4-суретте спутниктік радарлық интерферометрия (InSAR) деректері негізінде алынған және GNSS бақылауларының нәтижелеріне сәйкес трендтік қисықпен аппроксимацияланған бақылау нүктесіндегі жер бетінің тік ығысуларын сипаттайтын уақыттық динамика көрсетілген [12-14].

Уақыттық қатарды талдау тік деформациялардың орнықты төмендеуші трендін анықтайды, бұл жер бетінің үдемелі шөгу процесінің жүріп жатқанын дәлелдейді. Қарастырылып отырған кезең ішінде тік ығысулардың жинақталған шамасы 10 мм-ден асады, бұл деформациялық процестің ұзақ мерзімді және квазисызықтық сипатқа ие екенін көрсетеді.

Спутниктік және жерүсті деректерінің арасындағы байқалатын сәйкестік анықталған деформациялық ығысулардың сенімділігін және қолданылған инженерлік-геодезиялық мониторинг әдістерінің дұрыстығын растайды [13,14]. Трендтен болатын шамалы ауытқулар гидрогеологиялық жағдайлардың маусымдық өзгерістерімен және жер бетіне жақын грунттардағы кеуек қысымының вариацияларымен түсіндірілуі мүмкін [11].

Тұзды-тектоникалық және жарылымдық құрылымдардың әсері. Құрылымдық-тектоникалық талдау (1-сурет) тұзды күмбездердің шөгінді жамылғы ішінде кернеулердің қайта бөлінуін бастайтын белсенді геодинамикалық элементтер рөлін атқаратынын көрсетті [9,10]. Тұз массаларының жоғары бағытталған қозғалысы жергілікті деформация

аймақтарының қалыптасуына әкеледі, ал бұл деформациялар жер бетіне біркелкі емес шөгу және көтерілу түрінде көрініс табады.

Жарылымдық зоналар тереңдегі құрылымдардан жер бетіне деформацияларды жеткізетін арналар қызметін атқарады, бұл InSAR деректері бойынша анықталған деформациялық белсенділігі жоғары аймақтардың кеңістіктік шоғырлануын түсіндіреді [8,12].

Мониторинг әдістерін салыстырмалы сипаттау. Зерттеу нәтижелері деформацияларды мониторингтеуде спутниктік және жерүсті әдістерін кешенді қолданудың тиімділігін растайды (2-кесте).

Кесте 2

Мониторингтің әртүрлі әдістерімен алынған нәтижелерді салыстыру

Әдіс	Анықталатын деформациялар диапазоны	Кеңістіктік қамту	Сенімділік
GNSS	Нүктелік ығысулар	Жергілікті	Жоғары
InSAR (PS)	Деформациялық өрістер	Аймақтық	Жоғары
Құрылымдық талдау	Геодинамикалық алғышарттар	Аймақтық	Сапалық

Аталған әдістерді кешенді пайдалану деформацияларды тіркеумен қатар, оларды аймақтық геодинамика тұрғысынан интерпретациялауға мүмкіндік береді [13,14].

Алынған нәтижелер Каспий бассейнінің қазіргі кернеулі-деформацияланған күйі туралы бұрын жарияланған деректермен сәйкес келеді [8-11]. Қысқа мерзімді сейсмикалық әсерлерден айырмашылығы, анықталған деформациялық ығысулар баяу әрі жинақталатын сипатқа ие және инженерлік құрылыстар, соның ішінде мұнай-газ инфрақұрылымының желілік нысандары үшін әлеуетті қауіп төндіреді [19].

Осылайша, зерттеу нәтижелері Каспий үстіртінде аумақтардың орнықтылығын бағалау және инженерлік құрылыстарды жобалау кезінде тұрақты инженерлік-геодезиялық мониторинг жүргізудің, сондай-ақ геодинамикалық факторларды міндетті түрде ескерудің қажеттілігін растайды [13,14].

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу нәтижесінде геологиялық, құрылымдық-тектоникалық және инженерлік-геодезиялық деректерді кешенді талдау негізінде Каспий үстірті аумағында жер бетінің қазіргі деформациялық ығысуларының қалыптасуының геодинамикалық алғышарттары негізделді. Қазіргі деформациялық процестердің кеңістіктік әртекті және ұзақ мерзімді сипатқа ие екені анықталды, бұл тереңдік және жер бетіне жақын факторлардың күрделі өзара әрекеттесуімен түсіндіріледі.

Деформациялық ығысуларының қалыптасуында тұзды-күмбезді құрылымдар мен жарылымдық зоналардың шешуші рөл атқаратыны көрсетілді. Аталған құрылымдар шөгінді жамылғыдағы кернеулердің қайта бөлінуіне және олардың жер бетіне берілуіне ықпал ететін белсенді геодинамикалық элементтер ретінде әрекет етеді. Тік деформациялардың ең жоғары мәндері байқалатын аймақтардың тұзды күмбездер мен тектоникалық бұзылыстардың орналасуымен кеңістіктік сәйкестігі тұзды тектониканың өңірдің қазіргі кернеулі-деформацияланған күйіне айқындаушы әсерін растайды.

Спутниктік радарлық интерферометрия (InSAR) деректері мен GNSS бақылауларының талдауы негізінде Каспий үстіртінің жекелеген

учаскелерінде жер бетінің тік ығысуларында орнықты төмендеуші трендтердің бар екені анықталды, бұл олардың үдемелі шөгу процесіне ұшырап отырғанын көрсетеді. Алынған деформациялардың уақыттық қатарлары квазисызықтық сипатымен және жинақталу әсерімен ерекшеленеді, бұл маусымдық және климаттық факторлармен байланысты қысқа мерзімді тербелістерге қарағанда баяу геодинамикалық процестердің басым екенін дәлелдейді.

Нәтижелердің сенімділігі спутниктік және жерүсті геодезиялық деректерді өзара валидациялау арқылы расталды, бұл жер бетінің баяу деформациялық процестерін мониторингтеуде InSAR және GNSS әдістерін кешенді қолданудың жоғары тиімділігін көрсетеді. Аталған әдістерді пайдалану деформацияларды миллиметрлік дәлдікпен тіркеуге ғана емес, оларды аймақтық геодинамика тұрғысынан интерпретациялауға да мүмкіндік береді.

Алынған нәтижелердің практикалық маңыздылығы оларды геодинамикалық тәуекелдерді бағалау және Каспий үстірті аумағындағы инженерлік құрылыстар мен мұнай-газ инфрақұрылымы нысандарының қауіпсіз пайдаланылуын қамтамасыз ету кезінде қолдану мүмкіндігімен айқындалады. Анықталған деформациялық ығысулардың заңдылықтары инженерлік-геодезиялық мониторинг бағдарламаларын әзірлеуде, сондай-ақ геодинамикалық тұрғыдан белсенді өңірлерде құрылыстарды жобалау мен пайдалану бойынша нормативтік талаптарды жетілдіруде пайдаланылуы мүмкін.

Осылайша, орындалған зерттеу Каспий бассейніндегі қазіргі геодинамикалық процестер туралы түсініктерді дамытуға үлес қосады және жер бетінің деформациялық ығысуларының талдауы мен болжамын жасау үшін геологиялық, геофизикалық және геодезиялық әдістерді біріктіруге негізделген кешенді тәсілдің қажеттілігін растайды.

Әдебиеттер тізімі

1. Brunet M.F., Korotaev M., Ershov A. et al. The Palaeozoic–Mesozoic evolution of the Precaspian Basin // Marine and Petroleum Geology. – 2020. – Vol. 112. – P. 104094.
2. Stephenson R.A., Mart Y. Subsidence mechanisms in the Caspian Basin // Tectonophysics. – 2020. – Vol. 796. – P. 228646.
3. Hudec M.R., Jackson M.P.A. The salt mine: A digital atlas of salt tectonics // AAPG Memoir. – 2021. – No. 99.
4. Ibrashev K.N., Akhmetzhanov A.Zh., Zhemchuzhnikov V.G. Salt tectonics of the North Caspian Basin // Kazakhstan Journal for Oil & Gas Industry. – 2024. – Vol. 6. – No. 2. – P. 8-24.
5. Nouri A., Rahimi B., Vavryčuk V. Tectonic stress around the South Caspian Basin deduced from earthquake focal mechanisms // International Geology Review. – 2024. – Vol. 66. – No. 17. – P. 3075-3092.
6. Suzanne A.G. Leroy P.J. Reimer H.A.K., Lahijani Abdolmajid N.B., Eberhard S. et al. Caspian Sea levels over the last 2200 years, with new data from the S-E corner // Geo morphology. – 2022. – 403. – P. 108136.
7. Bayramov E. et al. Remote Surveillance of Differential Deformation for Kazakhstan Offshore Kashagan Oilfield Using Microwave Satellite Remote Sensing //Remote Sensing. – 2023. – Vol. 15. – No. 19. – C. 4754.
8. Trifonov V.G., Karakhanian A.S. Active faulting and tectonics of the Caspian region // Tectonophysics. – 2015. – Vol. 637. – P. 1-15.

9. Jackson J., Priestley K., Allen M., Berberian M. Active tectonics of the South Caspian Basin // Geophysical Journal International. – 2016. – Vol. 205. – No. 3. – P. 1493-1511.
10. Hudec M.R., Jackson M.P.A. Advances in salt tectonics: Understanding salt structures and deformation // AAPG Bulletin. – 2017. – Vol. 101. – No. 9. – P. 1411-1440.
11. Shi X., Zhang L., Wang J. Influence of groundwater and seasonal factors on surface deformation revealed by InSAR // Remote Sensing of Environment. – 2018. – Vol. 211. – P. 271-285.
12. Amelung F., Galloway D.L., Bell J.W., Zebker H.A., Laczniak R.J. Sensing deformation of the Earth's surface with InSAR // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. – 2019. – Vol. 47. – P. 241-270.
13. Teunissen P.J.G., Montenbruck O. Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems. – Cham: Springer, 2017. – 1349 p.
14. Ferretti A., Prati C., Rocca F. Permanent scatterers in SAR interferometry // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2001. – Vol. 39. – No. 1. – P. 8-20.

Материал редакцияға 15.01.26 түсті, 11.03.26 қабылданды.

Г.М. Отарбаева[1], Д.Ж. Артықбаев[2], Ж. Бердалиева[3], М.Т. Куттыбай[2], Ж.А. Үсенқұлов[2]

[1]Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан
[2]Южно-Казахстанский исследовательский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
[3]Казахская головная архитектурно-строительная академия, Алматы, Казахстан

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ПРИКАСПИЙСКОМ ПЛАТО

Аннотация. В статье рассматриваются геодинамические предпосылки формирования современных деформационных сдвижений земной поверхности на территории Прикаспийского плато. Исследование основано на комплексном анализе геологических, структурно-тектонических и инженерно-геодезических данных, характеризующих пространственно-временные особенности деформационных процессов. Для количественной оценки деформационных сдвижений использованы данные спутниковой радарной интерферометрии (InSAR) и глобальных навигационных спутниковых систем (GNSS), обеспечивающие миллиметровую точность определения вертикальных и горизонтальных смещений. Анализ карт скоростей деформаций и временных рядов показал выраженную пространственную неоднородность деформационного поля и наличие устойчивых нисходящих трендов вертикальных смещений, свидетельствующих о прогрессирующем оседании отдельных участков земной поверхности. Установлено, что максимальные скорости деформаций приурочены к зонам развития соляных куполов и тектонических нарушений, а также усиливаются под воздействием внешних природных и техногенных факторов. Полученные результаты подтверждают эффективность комплексного применения InSAR и GNSS-методов для мониторинга медленных геодинамических процессов и могут быть использованы при оценке геодинамических рисков, проектировании и эксплуатации инженерных сооружений и объектов нефтегазовой инфраструктуры на территории Прикаспийского плато.

Ключевые слова: геодинамика, деформационные сдвижения, Прикаспийское плато, соляная тектоника, земная поверхность, InSAR, GNSS, инженерно-геодезический мониторинг, осадочный чехол, геодинамические риски.

G.M. Otarbayeva[1], D.Zh. Artykbaev[2], Zh. Berdaliyeva[3], M.T. Kuttybay[2], Zh.A. Usenkulov[2]

[1]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
[2]M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan
[3]Kazakh National Academy of Architecture and Civil Engineering, Almaty, Kazakhstan

GEODYNAMIC PREREQUISITES FOR DEFORMATIONAL DISPLACEMENTS OF THE EARTH'S SURFACE ON THE CASPIAN PLATEAU

Abstract. The article examines the geodynamic prerequisites for the formation of modern deformation displacements of the Earth's surface within the territory of the Caspian Lowland Plateau. The study is based on an integrated analysis of geological, structural-tectonic, and engineering-geodetic data that characterize the spatial and temporal features of deformation processes. For the quantitative assessment of deformation displacements, data from satellite radar interferometry (InSAR) and Global Navigation Satellite Systems (GNSS) were used, providing millimeter-level accuracy in determining vertical and horizontal displacements. The analysis of deformation velocity maps and time series revealed pronounced spatial heterogeneity of the deformation field and the presence of stable downward trends in vertical displacements, indicating progressive subsidence of individual surface areas. It was established that the maximum deformation rates are confined to zones of salt-dome development and tectonic disturbances and are further intensified under the influence of external natural and anthropogenic factors. The obtained results confirm the effectiveness of the integrated application of InSAR and GNSS methods for monitoring slow geodynamic processes and can be used in geodynamic risk assessment, as well as in the design and operation of engineering structures and oil and gas infrastructure facilities within the Caspian Lowland Plateau.

Keywords: geodynamics, deformation displacements, Caspian Lowland Plateau, salt tectonics, Earth's surface, InSAR, GNSS, engineering–geodetic monitoring, sedimentary cover, geodynamic risks.

ҒТАМР 67.09.31

А.А. Сағындықов[1] – *негізгі автор,*
Б.А. Карымсаков[2], Д.Ғ. Әшір[3]

[1]Техн. ғылым. д-ры, профессор, [2]Магистр, аға оқытушы ,[3]Магистрант

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0002-1812-5739 [2]https://orcid.org/0000-0002-9617-3066 [3]https://orcid.org/0009-0001-1015-7402*

[1,3]Қазақ ұлттық су шаруашылығы және ирригация университеті,
Тараз, Қазақстан

@ *[1]aa.sagyndykov@dulatu.kz*

https://doi.org/10.55956/JCRN8635

КОМПЛЕКСТІ ОРГАНО-МИНЕРАЛДЫ ҚОСПАНЫҢ ГИДРОТЕХНИКАЛЫҚ БЕТОНДАРДЫҢ ФИЗИКА-МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІ

Аңдатпа. Мақалада ACI 211.4R-2008 стандарты бойынша алдын ала құрамы анықталған, гидротехникалық құрылыстарды салуда қолдануға болатын бетонның қасиеттерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Сонымен қатар ЖЭС-тің ұшпа күлі (ЗУ), SF-90 микрокремнеземі (МК90), метакаолин және SR 5000F поликарбоксилатты суперпластификаторынан (СП) тұратын әзірленген кешенді органо-минералды модифицирлеуші қоспаны қолданудың гидротехникалық бетонның қасиеттерінің өзгеруіне әсері зерттелді.

Тірек сөздер: микрокремнезем, метакаолин, поликарбоксилатты суперпластификатор, күл, цемент, гидротехникалық бетон, беріктік, су өткізбеушілік.

Сағындықов, А.А. Комплексті органо-минералды қоспаның гидротехникалық бетондардың физика-механикалық қасиеттеріне әсері [Мәтін] / А.А. Сағындықов, Б.А. Карымсаков, Д.Ғ. Әшір //Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.319-326. https://doi.org/10.55956/JCRN8635

Кіріспе. Коррозияға төзімді бетон, соның ішінде, гидротехникалық құрылыстарды салуда қолданылады, өйткені мұндай құрылыстар тұщы және тұзды агрессивті су ортасының әсеріне қажетті төзімділікке ие болуы тиіс [1-3]. Гидротехникалық құрылыстардың конструкциялары – көпірлердің бетон тіректері, су электр станцияларының бөгеттері, су қабылдау және су тастау туннельдерінің кіреберіс және шығаберіс порталдары, тіреу қабырғалары – жүйелі түрде ылғалдануға, айнымалы температуралардың әсеріне және гидроабразивтік тозуға ұшырайды.

Көп жағдайда гидротехникалық құрылыстардың бетон конструкцияларына әсер ететін сулар бетонға қатысты агрессивті болып табылады. Бұл ретте ең кең таралғаны – бетонда сыртқы сульфаттық коррозияның пайда болуына себеп болуы мүмкін агрессивті сульфатқұрамды орта [4-5]. Айта кету керек, толтырғыштардың ішкі сілтілік коррозиясы мен бетонның сыртқы сульфаттық коррозиясы бір мезгілде жүрген жағдайда, гидротехникалық құрылыстар конструкцияларындағы бетонның мерзімінен бұрын бұзылу қаупі мен тәуекелі едәуір артады.

[4-5] деректеріне сәйкес, бетонның сульфаттық агрессияға төзімділігі оның су өткізгіштігі мен тығыздығына тікелей байланысты.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Жоғары берікті бетонды дайындау үшін ПЦ400 Д0 маркалы портландцемент және SR 5000F поликарбоксилатты суперпластификаторы (СП) қолданылды. Толтырғыш ретінде ірілігі модулі $M_К$ = 2,95, нақты тығыздығы 2,65 г/см³ және тығыздалған күйдегі орташа үйінді тығыздығы 1540 кг/м³ болатын қиыршық тасты ұсату елеуіш өнімі (ОД), сондай-ақ Dmax = 20 мм, нақты тығыздығы 2,65 г/см³ және тығыздалған күйдегі үйінді тығыздығы 1580 кг/м³ болатын гранитті қиыршықтас (Щ) пайдаланылды.

Белсендімикроқоспалар (МН) ретінде Екібастұз МАЭС-інің қышқыл ұшпакүлі (ЗУ), микрокремнезем (МК) және Алексеев кен орнының термиялық өңдеуден өткен каолині – метакаолин (МКЛН) қолданылды, сондай-ақ жоғарыда аталған материалдардан тұратын екі түрлі композиция (қоспа) дайындалды, атапайтқанда: микрокремнезем мен күлден, метакаолин мен күлден тұратын, 55:45 арақатынасындағы қоспа.

Ұсақдисперсті материалдардың химиялық құрамы 1-кестеде, ал күлдің элементтік құрамы 2-кестеде келтірілген.

Кесте 1.

Ұсақдисперсті материалдардың химиялық құрамы

Шикізатқұрамы	Оксидтердіңмөлшері, %								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3	п.п.п
Цемент	21,5	4,4	5,3	58,6	1,9	1,7	0,5	0,5	6,9
Күл	54,1	23,9	5,9	1,1	1,2	1,8	1,1	3,2	5,1
МК	90,4	1,6	2,8	0,6	0,1	0,6	0,1	-	1,6
МКЛН	55,4	41,3	1,4	0,4	0,3	1,2	0,4	-	1,2

Кесте 2.

Күлдің элементтік құрамы

Шикізат	Массалық үлесі, %									
	O	Na	Al	Si	Ti	Mg	Ca	S	Fe	C
Күл	45,5	0,25	9,35	17,40	0,56	0,23	0,58	0,11	0,34	23,9

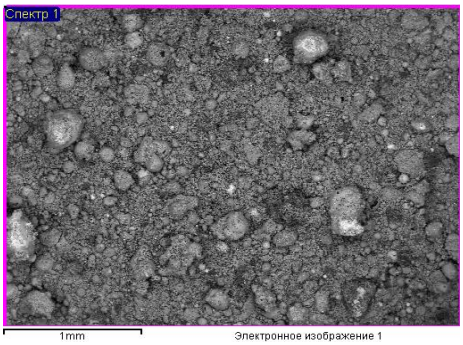
Көрсетілген 1 және 2-кестедегі мәліметтерге сәйкес, күлде байланыстырғыштардың қатуына қажетті кремний, алюминий, кальций, темір оксидтері сияқты қажетті оксидтер мен химиялық элементтер бар.

Жоғарыда аталған микроқоспалардың сипаттамалары 3-кестеде берілген. Ұшпа күлдің құрылымы мен элементтік құрамы 1-суретте көрсетілген. Ұсақталған күлдің микроструктурасы 2-суретте көрсетілген.

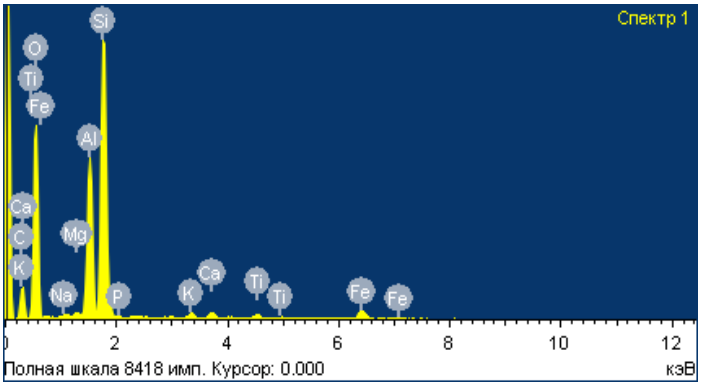
Кесте 3.

Микроқоспалардың физика-химиялықсипаттамалары

Микроқоспаның атауы	Сипаттамалары		
	ρ, г/см^3	$S_{уд}$ м^2/г	$D_{ср}$ мкм
Ұшпакүл	2,20	0,3	75,0
Метакаолин	2,62	1,3	1,9
Микрокремнезем	2,64	0,3	84

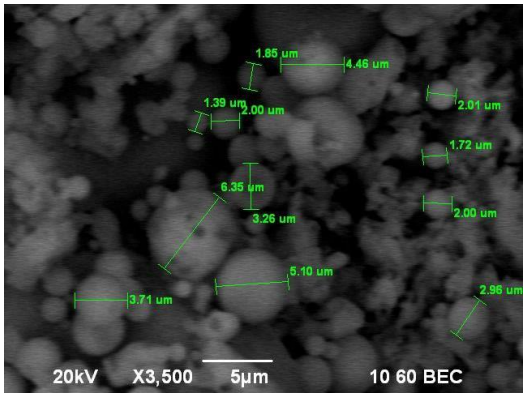


а



б

Сурет 1. Ұшпа күлдің құрылымы (а) және элементтік құрамы (б), 1000 есе үлкейтілген



Сурет 2. Ұсақталған ұшпа күлдің микроструктурасы

2-суретте көрсеткендей, ұсақталған күлде 1,85-6,35 мкм аралығындағы бөлшектер бар, олар таралу және қату процестерін белсендіреді.

Микрокремнезем – ферросилиций өндірісінің қалдығы, бөлшектерінің өлшемі 0,01-2 мкм аралығында.

Метакаолин – каолин балшығын 650-700°C температурада күйдірудің нәтижесінде алынатын өнім.

Жоғары қозғалғыш бетон қоспасының алдын ала құрамын анықтау үшін стандартты әдістер қолданылды [5]:

– Бетон қоспасының қозғалғыштығын ГОСТ 10181-2014 бойынша конус шөгуі (ОК) арқылы, 100×200×300 мм стандартты конус көмегімен сантиметрде бағалады;

– Бетонның орташа тығыздығын 100×100×100 мм өлшемді кубтардан ГОСТ 12730.1-78 сәйкес анықтады;

– Бетонның сығылуға беріктігі осы кубтардан, ал иілуде керілу беріктігі 100×100×400 мм өлшемді призмалардан ГОСТ 10180-2012 талаптарына сай сынақтан өткізілді;

– Бетонның су өткізбейтіндік маркасын диаметрі 150 мм, биіктігі 150 мм цилиндрлік үлгілерде ГОСТ 12730.5-84 бойынша «мокро дақ» әдісімен анықтады [3];

– Бетонның сұйық сульфатты ортадағы деформациясын ГОСТ Р 56687-2015 бойынша 25×25×254 мм үлгілерде анықтады [2].

Композициялық байланыстырғыш құрамын әзірлеу және цементтік жүйенің микроқоспалармен қанығу дәрежесін анықтау үшін микроқоспалар зертханалық шарлы мәнерде 20 және 30 минут ұнтақталды. Белгілі бір беткі ауданы ПСХ-12 құрылғысында анықталды.

Сынақ нәтижелері көрсетті, 20 минут ұнтақтаудан кейін беткі аудан – 5250 см²/г, ал 30 минутта – 5940 см²/г.

Бетон қоспасының алдын ала құрамын анықтау.

Жобаланған бетон мына қасиеттерге ие болуы тиіс:

– Стандартты конус шөгуі бойынша бетон қоспасының жақсы төселу қасиеті: ОК = 9-15 см;

– 28 күндік жастағы сығылуға беріктігі шамамен 50 МПа [4];

– Бетон қоспасында портландцементтің 30 % массасын ұшпа күлмен алмастыру мүмкіндігі [5,6];

– SR 5000F поликарбоксилатты суперпластификатордың мөлшері — портландцементтің 1 % массасы [2,3];

– Су–байланыстырғыш қатынасы С/Байл = 0,35–0,4 [2];

– Қатысқан ауа көлемі – 2 % [4,5].

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Микроқоспалар цемент композицияларының су сұранысын сәл арттырады, беріктігін көбейтеді, ал суды ұстап тұру қабілетін төмендетеді (4-кесте).

Кесте 4.

Түрлі микроқоспалары бар цемент матрицасының қасиеттері

№	Матрицаның құрамы	Матрицаның қасиеттері			
		$S_{уд}$ м²/г	Су тұтыну қабілеті, %	Суды ұстап тұру қабілеті, %	Беріктіктің өсу коэффициенті
1	Цемент 100%	0,3	25	13,8	1
2	Цемент+10% МКЛН	0,42	29,6	7,2	1,1
3	Цемент+10% ҰК	0,3	26	15,4	0,95
4	Цемент+10% МК	0,75	26,5	9,5	1,15
5	Цемент+10% (МК50%+ күл 50)	0,82	27	5,8	1,15
6	Цемент+10% (МКЛН50%+ күл 50)	0,8	26,5	6,4	1,15

Микрокремнеземнің, ұшпакүлдің және метакаолиннің цемент матрицасының қасиеттеріне әсерін зерттеу көрсеткендей, микроқоспаларды

цемент жүйесіне композиция (қоспа) түрінде енгізу оларды бөлек енгізуге қарағанда тиімдірек.

Атап айтқанда, ұшпакүл мен метакаолиннен тұратын кешенді цемент пастасы қажетті консистенцияны қамтамасыз ету үшін SR 5000F суперпластификаторының ең жоғары мөлшерін қажет етеді, ал кеңейту композициясымен цемент пастасында SR 5000F ең аз мөлшерде қолданылады. SR 5000F суперпластификаторының цемент массасына қатысты оңтайлы мөлшері 1,3-1,8%, микроқоспа массасына қатысты – 10,2-14,1%.

Қиыршықтас бөлшектерінің оңтайлы арақатынасы: 60% – 5-10 мм фракция, 40% – 10-20 мм фракция; қоспалардың араласымында ұсатылған қиыршықтастың оңтайлы мөлшері 0,73.

Бетон қоспасының құрамын және қасиеттерін анықтау нәтижелері 5-кестеде берілген.

Кесте 5.

Бетондардың құрамы және қасиеттері

№	1 м³ бетонға жұмсалатын материал мөлшері, кг						Конус шөгуі, см	Тығыздық, кг/м^3	Сығылуға беріктік, МПа
	ПЦ	МН	О	Щ	С	ОМҚ			
1	370	45	770	1050	180	-	5	2415	37,8
2	370	45	770	1050	178	5	9	2419	39,2
3	370	45	770	1050	176	7,5	11	2423	41,6
4	370	45	770	1050	176	10	13	2425	42,8
5	370	45	770	1050	178	5	10	2423	42,9
6	370	45	770	1050	176	7,5	12	2426	44,4
7	370	45	770	1050	176	10	14	2432	45,6

Ескерту: МН (ұлпа күл), ОМҚ (метакаолин-күл-СП).

Бетондардың №2, №3 және №4 құрамдарының қуысты құрылымына қатысты мәліметтері 6-кестеде берілген.

Кесте 6.

Бетондардың қуысты құрылымына қатысты мәліметтер

Құрамдар	Ауа мөлшерінің жалпы көлемі,%	Шартты жабық қуыстар көлемі,%	Шартты жабық қуыстардың параметрлері	
			Белгілі бір беткі ауданы, α	Қашықтық коэффициенті, L мм
Бақылау	9,1	8,1	24	0,14
Құрам №2	12,6	10,8	22	0,16
Құрам №3	14,8	11,9	21	0,18
Құрам №4	15,4	14,1	20	0,2

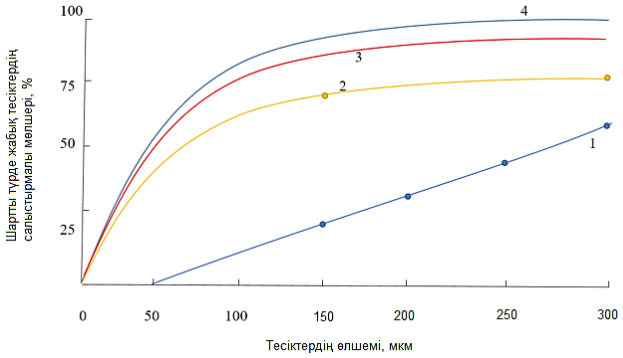
Су ұстап тұру қабілетін қамтамасыз ету және бетонның жоғары беріктігін қамтамасыз ету тұрғысынан ең тиімді композициялар мыналар болып табылады: МК құрамындағы – күл 50%, МК 45%, SR 5000F 5%; МКЛН құрамындағы – күл 50%, МКЛН 45%, SR 5000F 5%.

Ұшпа күлдің, микрокремнеземнің және метакаолиннің цемент матрицасының қасиеттеріне әсерін зерттеу көрсеткендей, микроқоспаларды цемент жүйесіне композиция (қоспа) түрінде енгізу оларды бөлек енгізуге қарағанда тиімдірек. Су ұстап тұру қабілеті мен бетонның жоғары беріктігі

тұрғысынан ең тиімді композициялар: метакаолин мен ұшпа күлдің 55:45 қатынасы; микрокремнезем мен ұшпа күлдің 55:45 қатынасы.

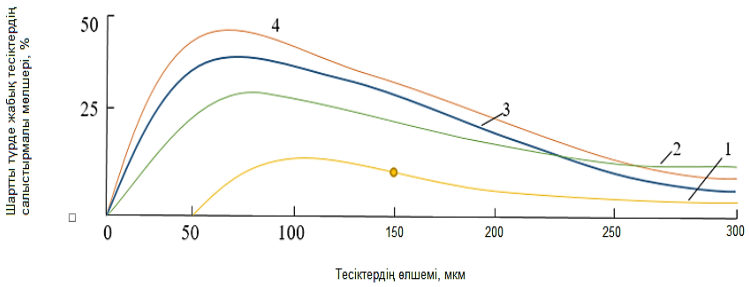
Жоғарыда аталған микроқоспа композициялары мен суперпластификаторды толтырғыштардың гранулометриялық құрамын оңтайландыру арқылы енгізу жоғары берікті бетондарының (Rсж ≥ 39 МПа) алынуына мүмкіндік береді.

Қуысты порлардың үлестірім қисықтарындағы өзгерістер (3 және 4-суреттер) ұсақ порлардың үлесінің артуын көрсетеді. Қоспаны қолдану нәтижесінде қатқан цемент тасындағы қуыстардың және микрокомпоненттердің көлемі азаяды. Диаметрі 200 мкм қуыстардың көлемі жалпы қуыстар көлемінің 84-89% құрайды. Диаметрі 400-500 мкм үлкен қуыстар көлемі аз, тек 2-3%.



1 – қоспасыз; 2 – Құрам №2; 3 – Құрам №3; 4 – Құрам №4.

Сурет 3. Бетон қуыстарының үлестірімін көрсететін интегралдық қисықтар



1 – қоспасыз; 2 – Құрам №2; 3 – Құрам №3; 4 – Құрам №4.

Сурет 4. Бетон қуыстарының дифференциалды таралу қисықтары

Бетонның су өткізбейтіндігін зерттеу кешенді қоспалардың цементтің қосымша гидратациясы және цемент тасындағы гидрат фазаларының көбеюі арқасында оның тығыздалуына елеулі әсер ететінін көрсетті, бұл пористік құрылымға тиімді ықпал етіп, бетондарды W12 деңгейінде су өткізбейтін етеді.

Барлық бетондар жоғары тығыздыққа ие: су өткізбейтіндік маркасы W12 және одан жоғары.

Салқынға төзімділік сынақтары көрсеткендей, күл қоспалары бар бетондар дәстүрлі құрамдағы бетондардан кем түспейді.

Қорытынды. Дайындалған кешенді органо-минералды қоспаларды гидротехникалық құрылыстарға арналған жоғары тиімді бетон өндірісінде қолдану ұсынылады. Сондай-ақ, оларды бетонның қалыпты жағдайда қату жылдамдығын арттыруға, бастапқы қату кезеңіндегі және маркалық жастағы беріктігін жоғарылатуға, цементті үнемдеуге, су өткізбейтіндік пен суыққа төзімділік маркасын сәл көтеруге пайдалануға болады.

Дайындалған кешенді модификатор-қоспалар бетондардың суыққа төзімділігін айтарлықтай арттыруға мүмкіндік береді, ал қоспаларды қолдану арқылы F400 және одан жоғары маркалы суыққа төзімді бетондар алуға болады.

Әдебиеттер тізімі

1. Кирсанова А.А. Органоминеральные модификаторы на основе метакаолина для цементных бетонов [Текст] / А.А. Кирсанова, Л.Я. Крамар // Строительные материалы. – 2013. – № 11. – С. 54-56.
2. Lam Tang, Xuan Hung Ngo, Vu Kim Dien, Bulgakov B.I. Effect of complex organo-mineral additive on the deformation of hydrotechnical concrete [Текст] // Construction of Unique Buildings and Structures. – 2019. – Vol. 4(79). – P. 7-19. https://doi.org/10.18720/CUBS.79.1.
3. Филимонова Ю.С. Исследование комплексной модификации тяжелого бетона [Текст] / Ю.С. Филимонова, Е.Г. Величко // Строительство и реконструкция. – 2021. – № 4(96). – С. 107-109. https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-96-4-107-112.
4. Ткач Е.В. Цементный бетон с улучшенными физико-механическими свойствами на основе применения активированного микрокремнезема [Текст] / Е.В. Ткач, Р.И. Темирканов // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 10. – С. 289-292.
5. Самченко С.В., Егоров Е.С. Управление свойствами цементной пасты при ее модифицировании предварительно гидратированной цементной суспензией [Текст] / С.В. Самченко, Е.С. Егоров // Техника и технология силикатов. – 2021. – Т. 28. – № 2. – С. 54-58.
6. Величко Е.Г. К проблеме формирования дисперсного состава и свойств высокопрочного бетона [Текст] / Е.Г. Величко, Ю.С. Шумилина // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15(2). – С. 235-243. https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.2.235-243.

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 инжиниринг тік орталық құру» жоба аясында орындалды.

Материал редакцияға 05.02.26 түсті, 26.03.26 қабылданды.

А.А. Сагындыков[1], Б.А. Карымсаков[1], Д.Ғ. Әшір[1]

[1]Казахский национальный университет водного хозяйства и ирригации, Тараз, Казахстан

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ БЕТОНОВ

Аннотация. В статье приведены результаты исследования свойств бетона, который может быть использован для строительства гидротехнических сооружений,

предварительный состав которого был определён с помощью стандарта ACI 211.4R-2008. Также было изучено эффекта использования разработанной комплексной органо-минеральной модифицирующей добавки,состоящей из золы-уноса ТЭС (ЗУ), микрокремнезема SF-90 (МК90), метакаолина и поликарбоксилатного суперпластификатора SR 5000F (СП) на изменение свойств гидротехнического бетона.

Ключевые слова: микрокремнезем, метакаолин, поликарбоксилатный суперпластификатор, зола, цемент, гидротехнический бетон, прочность, водонепроницаемость.

A.A. Sagyndykov[1], B.A. Karymsakov[1], D.G. Ashir[1]

[1]Kazakh National University of Water Management and Irrigation, Taraz, Kazakhstan

THE EFFECT OF A COMPLEX ORGANO-MINERAL ADDITIVE ON THE PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF HYDRAULIC ENGINEERING CONCRETES

Abstract. The article presents the results of a study of the properties of concrete, which can be used for the construction of hydraulic structures, the preliminary composition of which was determined using the ACI 211.4R-2008 standard. The effect of using the developed complex organo-mineral modifying additive consisting of thermal power plant fly ash, microsilicon SF-90 (MK90), methakaolin and polycarboxylate superplasticizer SR 5000F (SP) on changing the properties of hydraulic concrete was also studied.

Keywords: microsilica,methakaolin,polycarboxylate superplasticizer, ash, cement, hydraulic concrete, strength, water resistance.

References

1. Kirsanova A.A., Kramar L.Ya. Organomineral'nye modifikatory na osnove metakaolina dlya tsementnykh betonov [Organomineral Modifiers Based on Metakaolin for Cement Concretes] // Building Materials. – 2013. – No. 11. – P. 54-56. [in Russian].
2. Lam Tang, Xuan Hung Ngo, Vu Kim Dien, Bulgakov B.I. Effect of complex organo-mineral additive on the deformation of hydrotechnical concrete [Текст] // Construction of Unique Buildings and Structures. – 2019. – Vol. 4(79). – P. 7-19. https://doi.org/10.18720/CUBS.79.1.
3. Filimonova Yu.S., Velichko E.G. Issledovanie kompleksnoy modifikatsii tyazhelogo betona [Study of Complex Modification of Heavy Concrete] // Construction and Reconstruction. – 2021. – No. 4(96). – P. 107-109. https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-96-4-107-112. [in Russian].
4. Tkach E.V., Temirkanov R.I. Tsementnyy beton s uluchshennymi fiziko-mekhanicheskimi svoystvami na osnove primeneniya aktivirovannogo mikrokremezema [Cement Concrete with Improved Physico-Mechanical Properties Based on Activated Microsilica] // Innovations and Investments. – 2019. – No. 10. – P. 289-292. [in Russian].
5. Samchenko S.V., Egorov E.S. Upravlenie svoystvami tsementnoy pasty pri yeye modifitsirovanii predvaritel'no gidrirovannoy tsementnoy suspensiyey [Control of Cement Paste Properties during Its Modification by Pre-Hydrated Cement Suspension] // Silicate Engineering and Technology. – 2021. – Vol. 28, No. 2. – P. 54-58. [in Russian].
6. Velichko E.G., Shumilina Yu.S. K probleme formirovaniya dispersnogo sostava i svoystv vysokoprochnogo betona [On the Problem of Dispersed Composition Formation and Properties of High-Strength Concrete] // MGSU Bulletin. – 2020. – Vol. 15, Issue 2. – P. 235-243. https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.2.235-243.

МРНТИ 67.09.31

А.С. Естемесова[1] – *основной автор*,
Е.И. Кульдеев[2], Р.Е. Нурлыбаев[3],
З.Н. Алтаева[4], Е.С. Орынбеков[5]

©

[1,3]Канд. техн. наук, профессор, [2]PhD,
[4]Канд. техн. наук, ассоц. профессор,
[5]Канд. техн. наук, ассоц. профессор-исследователь

ORCID
[1]https://orcid.org/0000-0002-1499-7994 [2]https://orcid.org/0000-0001-8216-679X
[3]https://orcid.org/0000-0003-0161-6256 [4]https://orcid.org/0000-0001-9596-0511
[5]https://orcid.org/0000-0003-2131-6293

[1,4,5]Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан
[2,3]Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

@ *[1]axaya73@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/XSYG2142

СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СМЕСИ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ВЯЖУЩЕГО И ДИАТОМИТА

Аннотация. В статье представлены данные по исследованию и разработке сухих строительных теплоизоляционных смесей на основе модифицированного вяжущего, модифицированного дитатомита, перлитового песка и комплекса специальных добавок. Вяжущее получено на основе портладнцемента ЦЕМ II 32,5, минеральной добавки из отхода обогащения ГОК и микрокремнезема, активность модифицированного вяжущего составляет 33,61 МПа. Установлена оптимальная температура модификации диатомита в 900°С, при которой прочность при сжатии составила 5,02 МПа. Разработанные составы теплоизоляционных смесей показали марку М75 и М100, водоудерживающая способность на 2-4% выше нормативного, коэффициент теплопроводности составов колеблется в пределах от 0,165 Вт/м°С до 0,183 Вт/м°С, что позволяет их отнести к теплоизоляционным материалам. Установлена адгезионная прочность и на ее величину влияет вид подложки, так прочность сцепления для бетонного сонования Rсц = 0,35-0,41 МПа и для кирпичного основания Rсц = 0,35-0,43 МПа, прирост составляет 22,8%. Морозостойкость отделочного теплоизоляционного состава соответствует марке F50 и морозостойкость контактной зоны также составила марку $F_{кз}50$. Установлено, что применение модифицированного вяжущего и термически активированного диатомита повышает прочность на сжатие теплоизоляционных смесей, способствует повышению ранней структурной прочности и ускоряет процессы упрочнения цементно-диатомитово-перлитовых смесей.

Ключевые слова: модифицированное вяжущее, портландцемент, отход обогащения ГОК, микрокремнезем, модифицированный диатомит, вспученный перлитовый песок, редиспергируемый полимерный порошок, водоудерживающая способность, теплопроводность, морозостойкость.

Естемесова, А.С. Сухие строительные теплоизоляционные смеси на основе модифицированного вяжущего и диатомита [Текст] / А.С. Естемесова, Е.И. Кульдеев, Р.Е. Нурлыбаев, З.Н. Алтаева, Е.С. Орынбеков //Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №1(91). – С.327-347. https://doi.org/10.55956/XSYG2142

Введение. Постоянная тенденция роста затрат на электроэнергию требует качественной тепловой защиты зданий. Рациональным способом повышения теплозащиты является внешняя теплоизоляция за счет применения теплоизоляционных штукатурных составов.

Строительство зданий с высокими требованиями к энергосбережению является одной из приоритетных задач общества и строительного материаловедения. Согласно современным строительным нормам требуемое сопротивление теплопередаче увеличилось почти в 3 раза. Теплоизоляция во многом определяет затраты на энергию, отопление и создание благоприятных условий в помещениях. Соответственно, это требует создание эффективных теплоизоляционных материалов и решений с учетом технических, экологических и экономических свойств материала [1-5].

Смесь сухой теплоизоляционной штукатурки может использоваться не только при строительстве новых зданий и сооружений, но и при реконструкции существующих гражданских и промышленных зданий. В ценовой структуре сухой смеси себестоимость производства сырья составляет до 30-40%, в связи с чем актуальным является применение местного сырья при составлении сухих смесей с улучшенными тепловыми характеристиками.

Цементно-песчаные и известково-песчаные растворы обладают низкими теплоизоляционными свойствами и для регулирования теплоизоляционных свойств сухих смесей используют такие наполнители, как: вспученный перлит или вермикулит, пенопласт, диатомит, пенополистирольный наполнитель и др. [3-8]. Благодаря им достигаются самые высокие теплоизоляционные свойства и снижается плотность отделочного состава.

Перлитовый песок обладает хорошими теплофизическими характеристиками, его теплопроводность в зависимости от насыпной плотности варьируется от 0,043 Вт/м°С до 0,093 Вт/м°С и соответственно он нашел широкое применение [9-12] в технологии создания сухих теплоизоляционных смесей многими европейскими и местными производителями сухих смесей. Для достижения более высоких показателей теплопроводности имеются данные о введении в смесь на основе перлитового наполнителя воздухововлекающей добавки, этот способ используют производители «Ceresit St 24» и «Thermo-Lite».

Низкий коэффициент теплопроводности свойственен и диатомитовому наполнителю, который составляет от ~0,05 Вт/м°С до ~0,07 Вт/(м°С) и он может изменяться от вида его модификации и соответственно плотности [7-14].

В некоторых случаях теплоизоляционные смеси могут быть только доутепляющим материалом, так как некоторые несущие поверхности изначально имеют очень небольшое сопротивление теплопередаче, в результате чего только достаточный слой изолирующей штукатурки может помочь привести этот показатель в установленные нормы. Как правило, смесь наносят в несколько слоев, каждый толщиной в 2…3 см, но не более 15 см [10-15].

Сухие строительные теплоизоляционные составы обладают невысокими показателями по прочности на сжатие, что связано с применением большого количества наполнителей для улучшения теплоизоляционных свойств отделочного покрытия. Невысокая прочность, однозначно влияет на долговечность отделочного покрытия, морозостокость

и другие физико-механические показатели смеси. Есть необходомисть в разработке новых эффективных теплоизоляционных сухих смесях характеризующихся высокой прочностью и низкой теплопроводностью.

Анализ данных показывает, что наполнители из диатомита и перлита очень эффективны для производства сухих строительных теплоизоляционных смесей.

На территории Актюбинской области Республики Казахстан имеются значительные запасы диатомита, одним из ценных свойств которого является возможность его применения в различных строительных материалах, в том числе и сухие строительные смеси [7,8,11]. Активность взаимодействия диатомита с минеральными вяжущими (цемент, известь) связана с содержанием аморфного SiO_2, количество его может колебаться в пределах от 40 до 100% от общего количества SiO_2. Активация диатомита может быть достигнута за счет увеличения содержания в нем аморфного диоксида кремния, методами термической модификации или обработкой золем кремниевой кислоты.

По данным геологической службы Республики Казахстан, кремнистые породы в Актюбинской области имеют широкое распространение. Диатомит это рыхлая или слабо сцементированная кремнистая осадочная порода, состоящая из раковин диатомовых водорослей белого, серого или розового цвета. В естественном состоянии диатомит это пористый материал до 80…85%. По конфигурации эти поры закрытые и неглубокие. Химический состав в чистом виде можно выразить формулой $mSiO_2nH_2O$. Кремнезем в диатомитах находится в аморфном состоянии и составляет 78-95%, содержатся в небольшом количестве и карбонаты кальция, магния и другие примеси.

Ранее проведенные исследования природного диатомита методом электронного микроскопа показали наличие квазидвумерных решеток, указывающих на наноструктуру исследуемого материала-диатомита. Основная часть породы состоит из мельчайших опаловых остатков планктонных диатомовых водорослей (около 70%) размером от 0,14 до 0,16 мм, при этом встречаются образцы размером до 0,20-0,22 мм. Створки диатомей имеет цилиндрическую, линейную (стержневую) и дисковую форму. Стенки створок пронизывают поры размером до 200 нм.

Свободное пространство диатомовых водорослей заполнено коломорфным кремнеземом. В качестве примеси присутствуют короткие игольчатые чешуйки глинистых минералов размером до 0,01-0,02 мм. Так, образцы месторождения «Жалпак» относятся к биогенной кремнеземосодержащей породе, представленной остатками организмов, строящих кремнеземный скелет (шипы губок, листья диатомовых водорослей, скелеты радиолярий). Сравнительный анализ также показал, что диатомит Актюбинского месторождения является более качественный по составу и его можно использовать для производства строительных композитов.

Достаточные запасы кремнистых пород на территории Актюбинской области Республики Казахстан дают возможность организовать производство эффективных теплоизоляционных сухих строительных смесей.

В работе также рассмотрена возможность использования отходов промышленности, а именно отходы обогащения Балхашского горно-обогатительного комбината, что имеет большое экономическое и экологическое значение. Из-за огромных техногенных образований в виде

отвалов горно-обогатительных заводов, которые являются причиной безвозвратной утраты природных ресурсов, отчуждения земель из сельскохозяйственного оборота и загрязнения больших площадей.

Введение в цемент активных минеральных добавок позволяет получить бетоны и растворы с высокими физико-механическими и эксплуатационными характеристиками, то есть повысить плотность, водостойкость, морозостойкость, прочность одновременно снижая расход клинкерного цемента [10-17].

Работы ведущих научно-исследовательских институтов в области бетона и железобетона показали возможность значительного улучшения качественных и технологических характеристик бетона с использованием вяжущих веществ, полученных путем измельчения клинкера или цементного домола в сочетании с суперпластификатором или другими высокоэффективными добавками. В измельченном клинкере происходит своеобразная модификация активных поверхностей вследствие возникновения твердофазной реакции между органическими добавками и полиминеральным клинкерным порошком (цементом), в результате чего эти органоминеральные модифицированные вяжущие вещества характеризуются низкой потребностью в воде до 40% и менее, чем у традиционного портландцемента, что положительно влияет на комплексные свойства цементных систем.

Масштабы строительства объектов с применением портландцемента с каждым годом растут, в результате чего возникает вопрос о снижении расхода клинкерного цемента из-за большой энергоемкости производства, и заменой ее части активными минеральными добавками.

Производство комплексных минеральных добавок на основе отходов горнодобывающих и перерабатывающих предприятий ограничено из-за их недостаточной изученности физико-механических свойств и процессов протекающих в цементной системе.

Таким образом, целью исследования является разработка рецептуры сухих строительных теплоизоляционных смесей на основе комплексного вяжущего с применением отходов обогащения Балхашского ГОК, модифицированного диатомита, перлитового песка, специальных добавок и исследование основных физико-механических и физико-химических процессов протекающих в цементной системе.

Условия и методы исследований. Для приготовления сухой строительной теплоизоляционной смеси использовали следующие материалы:

1. Портландцемент ЦЕМ II 32,5, активностью 32,7 МПа, ТОО «Бухтарминская цементная компания»;

2. Модифицированное вяжущее на основе портландцемента ЦЕМ II 32,5 и минеральной добавки (отход обогащения ГОК и микрокремнезема 70:30), активностью 33,61 МПа;

3. Диатомит Жалпаксайского месторождения Мугалжарского района, Актюбинской области. Средняя плотность диатомита в куске составляет 300 – 500 кг/м^3, средняя плотность в рыхлом состоянии 220 – 350 кг/м^3 , истинная плотность – 2000 кг/м^3, насыпная плотность – 280 кг/м^3 Химический состав модифицированного диатомита представлен в виде: SiO_2 – 86,55%; Al_2O_3 – 6,52%; Fe_2O_3 – 3,20%; оксиды кальция, магния, серы менее 1%. Таким образом, модифицированный диатомит состоит из дисперсных частиц диоксида кремния с развитой наномасштабной пористой структурой.

4. Вспученный перлитовый песок М150, коэффициент теплопроводности 0,058 Вт/м°С. По своим химическим свойствам перлитовый песок можно отнести к пуццолановому материалу с высокой реакционной способностью, который в смеси с CaO образует C–S–H, алюминаты и алюмосиликаты кальция благодаря высокому содержанию аморфного SiO_2 – 76,0%, Al_2O_3 – 12,90% и низкому содержанию CaO – 2,30%.

5. В качестве добавок применяли:

– эфиры целлюлозы WeKcelo MP 150HMR, объемной плотностю 0,35 ~ 0,45 г/см³, pH – 6,0-8,5, размер частиц <180 мкм, обладает улучшенным водоудержанием;

– Berolan LP-W1, воздухововлекающая добавка, неиногенный гидрофильный поверхностно-активный порошок. Улучшает подвижность, удобоукладываемость и морозостойкость;

– редиспергируемый сополимерный порошок Dairen 3500, представляет собой сополимер винилацетата и этилена, что позволяет получать высокую устойчивость к действию щелочных растворов сухих строительных смесей, и высокую прочность сцепления теплоизоляционных составов.

– микрокремнезем – это наноматериал, отход производства кремнийсодержащих сплавов: ферросилиция и кристаллического кремния. В процессе плавления шихты и восстановления кварца при температуре более 1800°С образуются гелеобразный кремний, при охлаждении и контакте с воздухом окисляется до SiO_2 и конденсируется в виде частиц сверхтонкого кремнезема (рисунок 1), элементный состав представлен в таблице 1.

– Отход обогащения (отвальные хвосты) Балхашского горно-обогатительного комбината. Химический состав представлен в виде: SiO_2 – 62,50%; Fe_2O_3 – 1,30%; Al_2O_3 – 0,25%; CaO – 2,0%; MgO – 1,15%; Sобщ – 10,35%. На рисунке 2 представлена диаграмма размерности частиц отхода обогащения Балхашского ГОК. Анализ размерности частиц определяли на лазерном дифракционном анализаторе частиц Analysette 22 NanoTec (Fritsch).

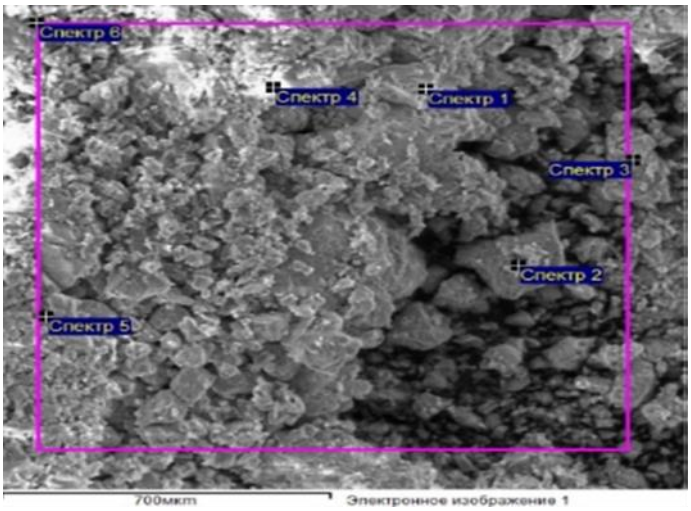


Рис. 1. Спектры рентгеновской флуоресценции микрокремнезема компании General Service

Таблица 1

Элементарный состав микрокремнезем от General Service

Спектр	Концентрация обнаруженных элементов, % по массе					Итог
	C	O	Si	K	Ca	
C1	-	31,56	67,41	1,03	-	100
C2	3,13	65,57	31,30	-	-	100
C3	-	59,63	40,0	0,37	-	100
C4	-	35,79	63,53	0,68	-	100
C5	0,01	59,89	39,77	0,33	-	100
C6	9,00	56,45	33,96	0,24	0,35	100
Макс.	9,00	65,49	67,39	1,07	0,30	
Мин.	0,01	31,55	31,37	0,24	0,29	

Данные рисунка 1 и таблицы 1 показывают, что в микрокремнеземе компании ТОО «General Service» (Караганда) содержание SiO_2 достигает до 99,8% и располагаясь в порах цементного камня, сверхтонкие частицы кремнезема повышают плотность, прочность, водонепроницаемость и долговечность материала. Размер частиц составляет от 100 до 500 нм.

Микрокремнезем соответствует требованиям ГОСТ Р 56196-2014 «Добавки активные минеральные для цементов. Общие технические условия».

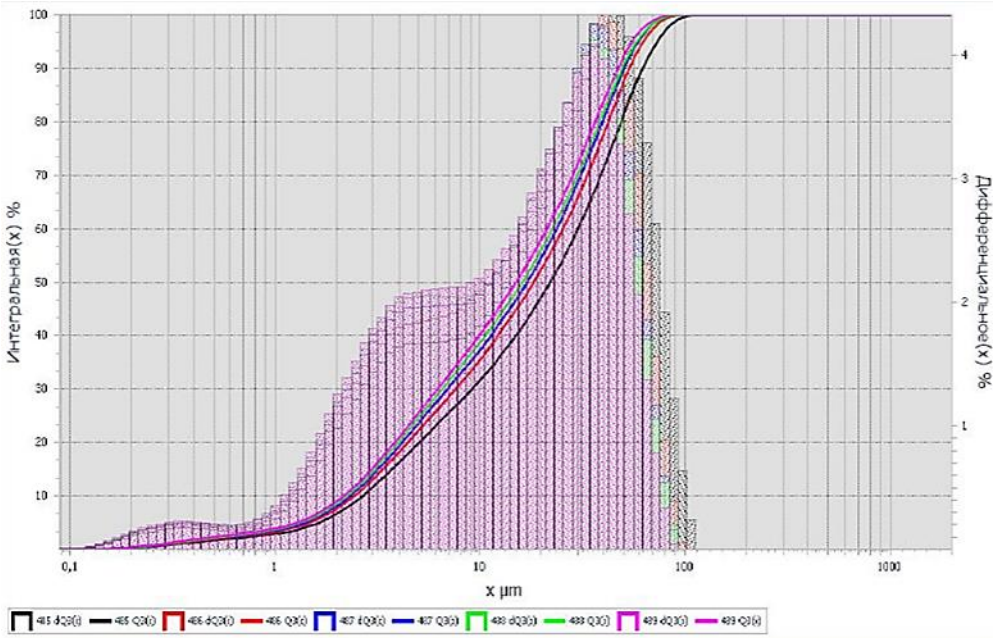


Рис. 2. Диаграмма размерности частиц отхода обогащения Балхашского ГОК

Данные рисунка 2, диаграммы размерности частиц отхода обогащения в среднем составляет от 70 до 100 нм.

В работе использовались стандартные методы исследования и испытаний действующие на территории РК. Испытания портландцемента согласно ГОСТ 31108 и ГОСТ 30744. Испытания перлитового песка согласно ГОСТ 10832-2009. Испытания микрокремнезема согласно ГОСТ Р 58894-2020. Испытания минеральных добавок согласно ГОСТ 25094-2015.

Испытания на теплопроводность согласно ГОСТ 7076-99. Испытания сухих строительных смесей согласно СТ РК 1168-2006, ГОСТ 5802-86, ГОСТ 31357-2007, ГОСТ 31356-2007 и др.

Результаты исследований. Добавки, используемые в технологии производства цемента подразделяются на активные минеральные добавки, наполнители, технологические добавки и добавки, регулирующие основные и специфические свойства цемента. Активные минеральные добавки должны обладать либо гидравлическими либо пуццолановыми свойствами. Проявление этих свойств определяется по внешним показателям (сроки схватывания, прочность и непроницаемость затвердевшего теста) или путем прямого измерения их химической активности.

Активность пуццолановую минеральных добавок определяли в соответствии с упрощенной методикой Фраттини. На 1 грамм добавки добавляют 75 мл насыщенного раствора извести, который получают путем растворения 2 грамм извести в 1 литре дистиллированной воды. Образцы выдержали в герметично закрытой колбе при температуре 40°С в течение 3сут, 7сут и 28 сут. После образцы отфильтровали, оттитртровали на ОН– и Са2+, используя ту же процедуру, что и в методике Фраттини.

В работе был принят шаг в 10% и в ранее выполненных нами работах мы также применяли шаг в 10% [9,10]. Данные по пуццолановой активности отхода обогащения и активатора микрокремнезема представлены в таблице 2.

Таблица 2

Пуццолановая активность минеральной добавки на основе отхода обогащения и микрокремнезема по поглощению СаО в возрасте 28 сут

Состав минеральной добавки, %		Поглощение СаО, % через 28 суток
отход обогащения	микрокремнезём	
100	0	7,9
90	10	12,6
80	20	25,7
70	**30**	**54,6**
60	40	58,2
50	50	65,6
40	60	68,2
30	70	74,2
20	80	80,8
10	90	84,5
0	100	94,0

Из данных таблицы видно, что отходы обогащения горно-обогатительного комбината обладают небольшой пуццоланической активностью, однако присутствие микрокремнезема значительно изменяет эту величину. И работы других авторов подтверждают этот процесс, а именно происходит раздельный процесс поглощения извести тонкомолотым кремнезёмом в два периода [25]. Первый период соответствует резкому начальному изменению концентрации гидроксида кальция и вызван адсорбцией $Ca(OH)_2$ на частицах SiO_2. Второй период характеризуется меньшей скоростью процесса и продолжающимся понижением концентрации $Ca(OH)_2$ вследствие осаждения из раствора гидросиликата кальция, образующегося в результате химической реакции.

Таким образом, для дальнейшего исследования была принята минеральная добавка состоящая из отхода обогащения и микрокремнезема в соотношении 70:30.

В связи с тонкодисперсностью отхода обогащения ГОК (70-100 нм) и микрокремнезема (100-500 нм), процесс доизмельчения с цементом в данной работе не рассматривался. Совместный помол (перемешивание) составил 15-20 минут в шаровой мельнице при соотношении сырье и мелющие тела 4:1.

Исследовано влияние минеральной добавки на основные физико-механические свойства модифицированного вяжущего при различных соотношениях, представлены в таблице 3 и на рисунке 3.

Таблица 3

Основные физико-механические свойства вяжущего с введением минеральной добавки из отхода обогащения и микрокремнезема

Составы (Ц/М.Д.), %	Сроки твердения, сут				Нормальная густота, %
	2	7	14	28	
	Предел прочности при сжатии, МПа				
50/50	5,08	9,40	15,22	20,4	29,5
60/40	8,06	19,48	25,64	31,0	29,0
70/30	**11,69**	**23,40**	**30,72**	**33,61**	28,5
80/20	13,56	25,16	32,72	33,65	27,5
90/10	13,96	25,48	32,90	33,70	27,0

Примечание: в столбце Ц – означает портландцемент ЦЕМ II 32,5, М.Д. – минеральная добавка из отходов обогащения ГОК и микрокремнезема

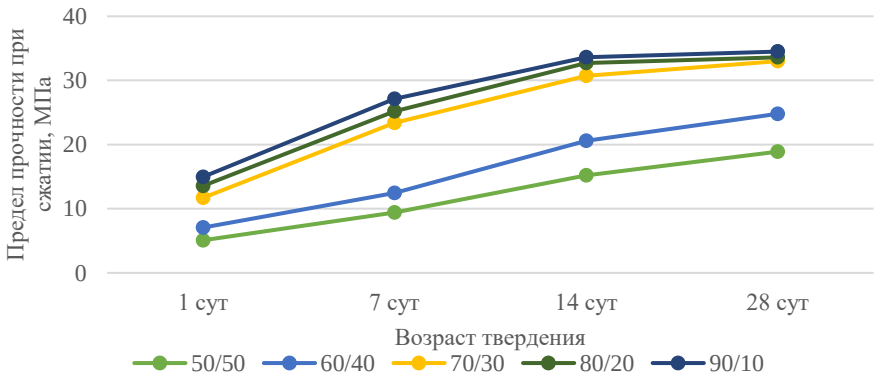


Рис. 3. Кинетика набора прочности модифицированного вяжущего: 1 – 50/50; 2 – 60/40; 3 – 70/30; 4 – 80/20; 5 – 90/10

Анализ полученных данных по кинетике набора прочности модифицированного вяжущего (табл. 3, рис. 3) показывает, что прирост по прочности на сжатие состава: (50:50) составил на 3 сутки – 15,63%, 7 сутки – 28,92%, 14 сут – 46,83%, 28 сутки – 62,76%; (60:40) составил на 3 сутки – 24,8%, 7 сутки – 59,93%, 14 сут – 78,89%, 28 сутки – 95,38%; (70:30) составил на 3 сутки – 35,96%, 7 сутки – 72%, 14 сут – 94,52%, 28 сутки – 103,41%; (80:20) составил на 3 сутки – 41,72%, 7 сутки – 77,41%, 14 сут – 100,6%, 28 сутки – 103,5%; (90:10) составил на 3 сутки – 42,95%, 7 сутки – 78,4%, 14 сут – 101,2%, 28 сутки – 103,6%. Нормальная густота составляет от 27% до 29,5%, рекомендуемая от 25 до 30%. Исходя из анализа полученных данных

принято решение использовать в технологии получения сухих строительных теплоизоляционных смесей состав модифицированного вяжущего при соотношении 70:30.

В технологии получения сухих смесей применяют дисперсные наполнители, которые как известно обладают энергетическим потенциалом, наличием поверхностной энергии, и некоторые процессы в них могут протекать произвольно в их активных центрах. Состав и реакционная способность поверхности вещества зависят от природы образования, размера и формы частиц материала, пористости кристаллографической модификации и т.д. Сухие смеси на основе диатомита характеризуются повышенной трещиностойкостью, и для регулирования этого свойства был модифицирован диатомитовый наполнитель. Работы по модификация диатомита нами проводилась термическим методом и отражены в научных статьях [9,10].

Модификация диатомита при температуре от 900°С до 1100°С приводит к взаимодействию аморфного кремнезема с примесями, в процессе которого образуется жидкая фаза, а при охлаждении она уже превращается в стекло, что значительно снижает общую пористость материала. Частицы диатомита с волокнистой структурой, а также остатки обезвоженных глинистых минералов определяют прочность образцов, и содержание кристобалита в образцах и изделиях постепенно увеличивается.

Прочность модифицированного диатомита на сжатие показана на рисунке 4 и основана на результатах испытаний образцов кубиков размером 70,7 х 70,7 х 70,7 мм в возрасте 28 дней.

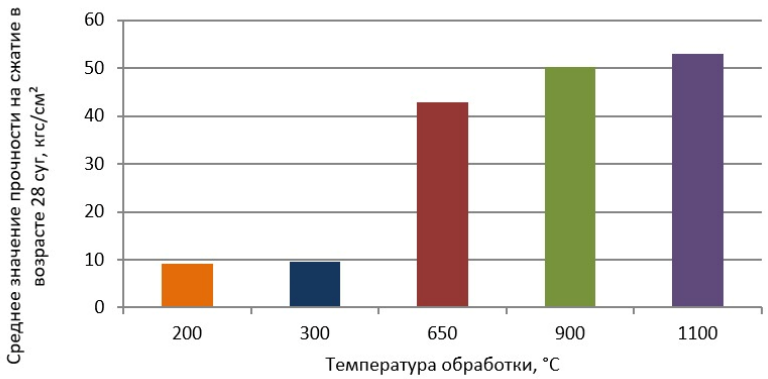


Рис. 4. Прочность при сжатии модифицированного диатомита

Анализируя данные представленные на графике мы видим, что модифицирование диатомита при температуре 900°С показывает прочность на сжатие составила 5,02 МПа, при температуре 1100°С прочность на сжатие составила 5,30 МПа. Позже в ходе исследования была принята модификация диатомита при температуре 900°С, поскольку более высокая температура менее целесообразна, а разница по прочности составлила только 5,5%.

Для придания сухим строительным смесям теплоизолирующих свойств, как было отмечено уже ранее в работе были приянты наполнители с низким коэффициентом по теплопроводности – это перлитовый песок и модифицированный диатомит. Были разработаны составы сухих строительных теплоизоляционных смесей на основе модифицированного вяжущего, модифицированного диатимита, перлитового песка и добавок

WeKcelo MP 150HMR, Berolan LP-W1, Dairen 3500 для регулирования реологических свойств и структурообразования, составы представлены в таблице 4.

Таблица 4

Составы строительных теплоизоляционных смесей

Наименование сырьевых материалов	Состав, %				
	№1	№2	№3	№4	№5
Модифицированное вяжущее	24,8	26,5	29,0	30,3	32,0
Модифицированный диатомит	52,89	53,19	52,69	52,39	51,69
Вспученный перлитовый песок	21	19	17	16	15
Водоудерживающая добавка	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Воздухововлекающая добавка	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Редиспергируемая полимерная добавка	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

Зафомованные образцы кубы размерами 70,7×70,7×70,7 мм твердели в нормально-влжностных условиях при температуре (20±2)°С и относительной влажностью воздуха (95±5)%. Результаты по определению прочности на сжатие представлены в таблице 5, графически на рисунке 5.

Таблица 5

Динамика результатов по прочности на сжатие разработанных составов

Составы	Прочность на сжатие, МПа в возрасте			
	3 сут	7 сут	14 сут	28 сут
№1	2,35	4,71	6,35	7,85
№2	2,86	5,46	7,61	8,96
№3	3,37	6,44	9,00	10,23
№4	3,69	7,38	9,44	10,86
№5	3,82	7,63	10,22	11,24

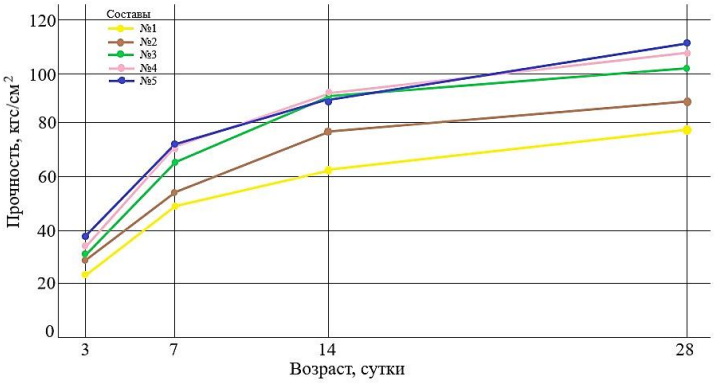


Рис. 5. Кинетика набора прочности при сжатии теплоизоляционных составов

Анализ данных (табл. 5, рис. 5) показывает, составы №1 и №2 показывают прочность на сжатие от 7,85 МПа до 8,96 МПа, что соотвествует марке раствора М75, прочность болеее высокая наблюдается у составов №3, №4 и № 5, что соответствует марке раствора М100 и обусловлено это оптимальным содержанием вяжущего от 29% до 32% и оптимальным соотношением наполнителей от 66% до 69%, из них модифицированный диатомит 51,69-52,69% и перлитовый песок 15-17%.

Образцы с высоким содержанием перлитового песка характеризуются повышенными усадочными деформациями, поэтому составы с содержанием перлитового песка в пределах 15% наиболее оптимальны.

Важной особенностью сухих строительных смесей является их водоудерживающая способность, позволяющая сохранять подвижность смеси и влиять на набор прочности в тонкослойной системе. Мониторинг водоудерживающей способности разработанных теплоизоляционных составов на основе модифицированного вяжущего, модифицированного диатимита, перлитового песка и добавок WeKcelo MP 150HMR, Berolan LP-W1, Dairen 3500, представлена на рисунке 6.

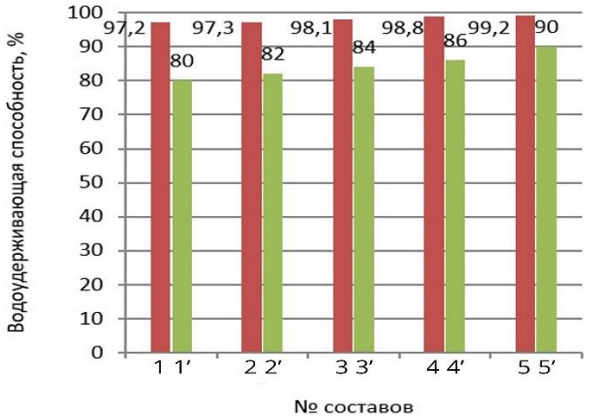


Рис. 6. Показатели по водоудерживающей способности теплоизоляционных составов

Анализ данных прелставленных на рисунке 6, показывает что водимые добавки WeKcelo MP 150HMR, Berolan LP-W1 и Dairen 3500 оказывают положительное влияние на водоудерживающую способность композиций и значения по данному показателю находятся для всх составов выше нормативного и достигают от 97,2% до 99,2%. Паралельно провели испытания и на состававх без вышеуказанных добавок, результаты ниже нормативного от 5,26% до 15,78%.

Испытания составов для определения коэффициента теплопроводности проводились на приборе ИТП-МГ4, результаты представлены на рисунке 7.

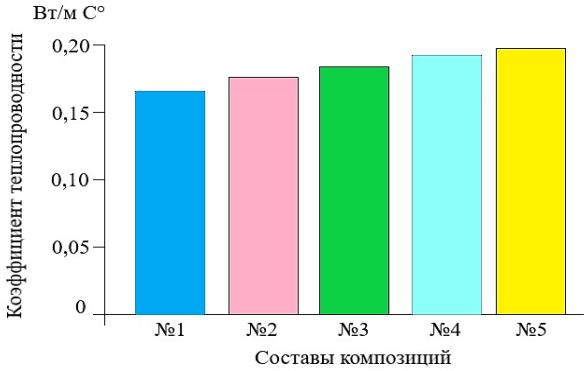


Рис. 7. Коэффициент теплопроводности сухих строительных теплоиззоляционных смесей

Полученные результаты коэффициента теплопроводности следующие: состав №1 – 0,165 Вт/м°С; состав №2 – 0,173 Вт/м°С; состав №3 – 1,178 Вт/м°С; состав №4 – 0,180 Вт/м°С; состав №5 – 0,183 Вт/м°С. Разработанные составы на основе модифицированного диатомита, перлитового песка, добавок и модифицированного вяжущего позволило получить теплоизоляционные сухие строительные смеси.

Прочность сцепления является одной из ключевых свойств сухих строительных смесей и от ее устойчивости во многом зависят и другие свойства смеси, в том числе долговечность и срок эксплуатации. Прочность сцепления определяли методом отрыва матрицы от поверхности образца.

В процессе структурообразования смеси изменяется и химический состав, структура и свойства материала, протекают изменения в макромолекулах, возможна и активация поверхности основания что, может приводить к появлению напряжений в зоне контакта. Все это может оказывать воздействие на характер адгезивного взаимодействия. Так, в процессе формирования связи и в процессе ее эксплуатации первоначально установленные связи могут быть сохранены, уничтожены или дополнены новыми связями. Адгезия зависит не только от наличия, но и от количества соединений между контактными телами. Количество и качество связей определяется в первую очередь площадью контакта между смесью и основанием.

Изучена прочность связи разработанных теплоизоляционных составов с бетонным и кирпичным основанием, результаты приведены в таблице 6.

Таблица 6.

Адгезионные и когезионные свойства сухой строительной теплоизоляционной смеси

№ составов	Адгезионная прочность, МПа	
	Бетонное основание	Кирпичное основание
1	0,35	0,35
2	0,36	0,36
3	0,36	0,37
4	0,40	0,41
5	0,41	0,43

Было установлено, что значения адгезионной прочности варьируются в диапазоне Rсц = 0,35-0,41 МПа для бетонного основания и Rсц = 0,35-0,43 МПа для кирпичного основания. В целом, составы показали более высокую прочность сцепления к кирпичному основанию в сравнении с бетонным, что связано с хорошей впитываемостью влаги и воды у кирпичного основания. Применение модифицированного вяжущего и использование специальных добавок в композициях значительно изменило адгезионную способность и улучшила адгезионное взаимодействие композиций с различными основаниями.

С целью определения эксплуатационной прочности составов на основе модифицированного вяжущего, модифицированного диатомита, перлитового песка, водоудерживающей добавки WeKcelo MP 150HMR, воздухововлекающей добавки Berolan LP-W1 и редиспергируемого полимерного порошка Dairen 3500 были проведены испытания на морозостойкость состава № 3 методом замораживания и оттаивания, так как у данного состава средние показатели по всем ранее рассмотренным

свойствам. Марку смесей морозостойкости, таблица 7 при испытании основным методом принимают за соответствующую требуемой, если среднее значение прочности на сжатие основных образцов после проведения числа циклов переменного замораживания и оттаивания, уменьшится не более чем на 10% по сравнению со средней прочностью на сжатие контрольных образцов.

Таблица 7.

Результаты по морозостойкости теплоизоляционной смеси состава № 3

Количество циклов	Потеря прочности при сжатии, %	Марка по морозостойкости
10	3,8	F10
15	5,6	F15
25	7,8	F25
35	8,2	F35
50	9,0	F50
75	10,1	F75
100	11,4	F100

Выявлено, что теплоизоляционный состав № 3 выдержал 50 циклов попеременного-замораживания и оттаивания при которой потеря по прочности при сжатии составила 9,0%, что укладывается в требования по потере прочности не более 10% и соответственно соответствует марке по морозостойкости F50.

При исследовании морозостойкости контактной зоны того же состава, были подготовлены образцы композита нанесенного на бетонную подложку. Оценку прочности сцепления покрытия с основанием проводили методом отрыва. Результаты проведенных испытаний теплоизоляционного состава № 3, приведена в таблице 8.

Таблица 8.

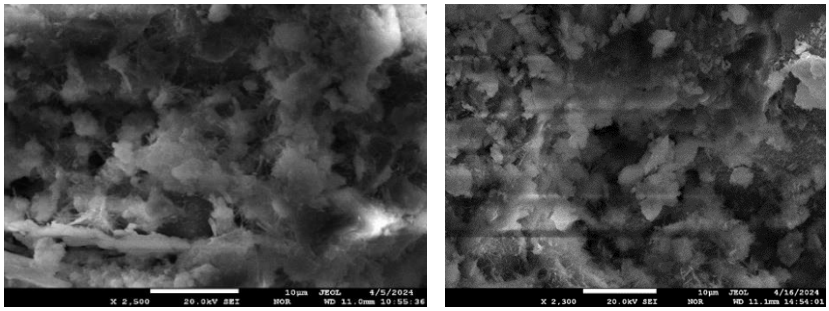
Морозостойкость контактной зоны теплоизоляционного состава №3

Прочность сцепления, МПа	Количество циклов							
	5	10	15	25	35	50	75	100
	0,362	0,360	0,360	0,360	0,353	0,289	0,278	0,256

Установлено, что марка по морозостойкости контактной зоны состава №3 составила марку $F_{кз}50$, т.к. потеря по прочности сцепления не более 20% после 50 циклов замораживания и оттаивания.

Исследования влияния минеральной добавки в составе модифицированного вяжущего показало, что ультрадисперсные частицы микрокремнезема входящегов состав вяжущего, заполняет пространство между зернами цемента и частицами заполнителя. По мере гидратации портландцемента частицы микрокремнезема оказываются включенными во «внешний» продукт гидратации. На снимках, которые были сделаны методом просвечивающей электронной микроскопии (рис. 8), заметен участок цементного раствора на границе между «внутренним» и «внешним» продуктами гидратации. Видно, что более плотный «внутренний» продукт содержит едва заметные частицы микрокремнезема, так как его образование происходит не через раствор, а топохимически, т.е. непосредственно на границе между непрореагировавшим зерном и продуктами гидратации. «Внешний» продукт с вовлеченными в него частицами микрокремнезема по

сравнению с «внутренним» продуктом имеет более низкую основность (соотношения Ca:Si, найденные для «внешнего» и «внутреннего» про дукта, составляют соответственно 0,8 и 1,8), а его структура утрачивает волокнистое строение. Активное участие микрокремнезема в образовании «внешнего» продукта гидратации приводит к снижению капиллярной пористости, и одновременно приводит к увеличению количества мельчайших гелевых пор, которые входят в состав кальциево-силикатного гидрогеля. Изменение поровой структуры камня сопровождается увеличением плотности и прочности, снижением проницаемости раствора по отношению к воде и солевым растворам. Увеличивается также стойкость к циклическому замораживанию и оттаиванию.



а б

а – граница между внутренним (слева) и внешним (справа) продуктами; *б* – увеличенный фрагмент снимка *а*, где видны частицы микрокремнезема, вовлеченные во внешний продукт.

Рис. 8. Микроскопия образца модифицированного вяжущего в составе сухой строительной смеси

В смесях на модифицированном вяжущем, его частицы заполняют пространство вокруг заполнителя более плотно по сравнению с частицами цемента, вследствие которого промежуточный слой имеет более плотную и однородную структуру, и в нем отсутствуют массивные кристаллы $Ca(OH)_2$.

Обсуждение результатов исследований. Данные таблицы 2, показывают что отходы обогащения горно-обогатительного комбината обладают небольшой пуццолановой активностью, и присутствие микрокремнезема значительно изменяет эту величину, так при соотношении 70:30 она достигает 54,6%, что и прянто в дальнейшем для разработки модифицированного вяжущего. Работы других авторов подтверждают этот процесс, а именно происходит раздельный процесс поглощения извести тонкомолотым кремнезёмом в два периода [25]. Первый период соответствует резкому начальному изменению концентрации гидроксида кальция и вызван адсорбцией $Ca(OH)_2$ на частицах SiO_2. Второй период характеризуется меньшей скоростью процесса и продолжающимся понижением концентрации $Ca(OH)_2$ вследствие осаждения из раствора гидросиликата кальция, образующегося в результате химической реакции.

Для создания модифицированного вяжущего применили портландцемент ЦЕМ II 32,5 и минеральную добавку на основе отхода обогащения ГОК и микрокремнезема.

Анализ полученных данных по кинетике набора прочности модифицированного вяжущего (табл. 3, рис. 3) показывает, что прирост по прочности на сжатие состава: (50:50) составил на 3 сутки – 15,63%, 7 сутки – 28,92%, 14 сут – 46,83%, 28 сутки – 62,76%; (60:40) составил на 3 сутки – 24,8%, 7 сутки – 59,93%, 14 сут – 78,89%, 28 сутки – 95,38%; (70:30) составил на 3 сутки – 35,96%, 7 сутки – 72%, 14 сут – 94,52%, 28 сутки – 103,41%; (80:20) составил на 3 сутки – 41,72%, 7 сутки – 77,41%, 14 сут – 100,6%, 28 сутки – 103,5%; (90:10) составил на 3 сутки – 42,95%, 7 сутки – 78,4%, 14 сут – 101,2%, 28 сутки – 103,6%. Нормальная густота составляет от 27% до 29,5%, рекомендуемая от 25 до 30%. Исходя из анализа полученных данных принято решение использовать в технологии получения сухих строительных теплоизоляционных смесей состав модифицированного вяжущего при соотношении 70:30.

Модификация диатомита при температуре 900°С позволила получить прочность на сжатие 5,02 МПа, дальнейшее повышение температуры не повлияло на прирост прочности. Для разработки теплоизоляционных составов принято решение об использовании модифицированного диатомита и вспученного перлитового песка, так как обладают низкой теплопроводностью не более 0,065 Вт/м°С.

Разработанные составы сухих строительных теплоизоляционных смесей (табл. 4) на основе модифицированного вяжущего, модифицированного диатимита, перлитового песка, водоудерживающей добавки WeKcelo MP 150HMR, воздухововлекающей добавки Berolan LP-W1 и редиспергируемого порошка Dairen 3500 показали (табл. 5, рис. 5) что составы №1 и №2 соотвествует марке раствора М75, составы №3, №4 и №5 соответствуют марке раствора М100 и обусловлено это оптимальным содержанием вяжущего от 29% до 32% и оптимальным соотношением наполнителей от 66% до 69%, из них модифицированный диатомит 51,69%-52,69% и перлитовый песок 15%-17%. Авторами [21] получены результаты об эффективности применения вспученного перлитового песка, для уменьшения теплопроводности отделочного слоя на основе цементного вяжущего. Установлено, что содержание перлита до 20% изменяет коэффициент теплопроводности до 0,16 – 0,23 Вт/м^{0}С, без потери полученной прочности от 2,5 до 3,5 МПа.

Анализ данных рисунка 6, показывает что водимые добавки WeKcelo MP 150HMR, Berolan LP-W1 и Dairen 3500 оказывают положительное влияние на водоудерживающую способность композиций и значения по данному показателю находятся для всх составов выше нормативного и достигают от 97,2% до 99,2%. Результаты по испытанию составов без добавок показали отклонение от нормативного от 5,26% до 15,78% ниже.

Результаты по определению коэффициента теплопроводности (рис. 7) варьируются от 0,165 Вт/м°С до 0,183 Вт/м°С в зависимости от состава и относятся к теплоизоляционным строительным материалам.

Экспериментально установлено, что значения адгезионной прочности варьируются в диапазоне Rсц = 0,35-0,41 МПа для бетонного основания и Rсц = 0,35-0,43 МПа для кирпичного основания. В целом, составы показали более высокую прочность сцепления к кирпичному основанию в сравнении с бетонным, что связано с хорошей впитываемостью влаги и воды у кирпичного основания. Авторами [22] в работе установлено влияние диатомита на адгезионные свойства и структурообразование компзозита, за счет пористой структуры диатомита которая способствует адсорбции

продуктов гидратации и блокирует рост кристаллов $Ca(OH)_2$. Как следствие, в присутствии диатомита образовались гидратные фазы, близкие по составу к C-S-H на границе раздела фаз.

Анализ данных таблицы 7 показал, что теплоизоляционный состав №3 выдержал 50 циклов попеременного-замораживания и оттаивания при потере прочности на сжатие в 9,0%, что менее 10% являющееся условием по определению марки по морозостойкости и равна соотвественно F50.

Морозостойкость контактной зоны состава №3 составила марку $F_{кз}50$, т.к. потеря по прочности сцепления не более 20% после 50 циклов замораживания и оттаивания. В ходе исследования авторы [23] также провели оценку морозостойкости, и было доказано, что грамотное сочетание вяжущего и наполнителей обеспечило устойчивость материала к многократным циклам замораживания и оттаивания. Эти данные согласуются с результатами, полученными нами в работе, где нашли применение модифицированное вяжущее, диатомитовый наполнитель и перлит.

Заключение. В процессе работ по исследованию и разработке сухих строительных теплоизоляционных смесей получены следующие данные и результаты.

Установлена пуццолановая активность отходов обогащения Балхашского горно-обогатительного комбината и введение в ее состав оптимального количества микрокремнезема, соотношение 70:30 повышает ее пуццолановая активность до 54,6%.

Разработан состав модифицированного вяжущего на основе портландцемента ЦЕМ II 32,5 и минеральной добавки из отхода обогащения ГОК и микрокремнезема. Анализ полученных данных по кинетике набора прочности модифицированного вяжущего показывает, что оптимальным соотношением является 70:30 при котором прочность на сжатие составила 33,61 МПа, нормальная густота составляет 28,5%.

Установлена температура модификации диатомита в 900°С и прочность при сжатии равна 5,02 МПа, дальнейшее повышение температуры не влияет на прирост прочности.

Разработаны составы сухих строительных теплоизоляционных смесей на основе модифицированного вяжущего, модифицированного диатимита, перлитового песка, водоудерживающей добавки WeKcelo MP 150HMR, воздухововлекающей добавки Berolan LP-W1 и редиспергируемого порошка Dairen 3500, составы №1 и №2 соотвествует марке раствора М75, составы №3, №4 и №5 соответствуют марке раствора М100, что связано с оптимальным содержанием вяжущего от 29% до 32% и оптимальным соотношением наполнителей от 66% до 69%, из них модифицированный диатомит 51,69%-52,69% и перлитовый песок 15%-17%.

Установлены реологические и технологические закономерности влияния добавок WeKcelo MP 150HMR, Berolan LP-W1 и Dairen 3500 на водоудерживающую способность композиций и значения по данному показателю находятся для всх составов выше нормативного и достигают от 97,2% до 99,2%. У составов без добавок наблюдаются пониженные значения менее 15,78%.

Модифицированный диатомит и вспученный перлитовый песок обладают низкими показателями по теплопроводности, что подтверждено данными коэффициента теплопроводности разработанных сухих строительных теплоизоляционных смесей и составляют от 0,165 Вт/м°С до 0,183 Вт/м°С.

Установлено, что адгезионная прочность в заисимости от вида основания варьируются в диапазоне Rсц = 0,35-0,41 МПа для бетонного основания и Rсц = 0,35-0,43 МПа для кирпичного основания. В целом, составы показали более высокую прочность сцепления к кирпичному основанию в сравнении с бетонным, что связано с хорошей впитываемостью влаги и воды у кирпичного основания и значениями водоудерживающей способности.

Выявлена морозостойкость теплоизоляционного состава №3, которая соответствует марке F50. И исследована морозостойкость контактной зоны которая составила марку $F_{кз}50$.

Выявлены причины упрочнения композитов в зависимости от состава сухой смеси. Установлено, что применение модифицированного вяжущего и термически активированного диатомита повышает прочность на сжатие теплоизоляционных смесей, способствует повышению ранней структурной прочности и ускоряет процессы упрочнения цементно-диатомитово-перлитовых смесей.

Список литературы

1. Дергунов, С.А. Сухие строительные смеси (состав, технология, свойства) [Текст] / С.А. Дергунов, С.А. Орехов. – Оренбург: ОГУ, 2012. – 106 с.
2. Баженов, Ю.М. Технология сухих строительных смесей [Текст] / Ю.М. Баженов, В.Ф. Коровяков, Г.А. Денисов. – 2-е изд., доп. – М.: Изд-во АСВ, 2011. – 112 с.
3. Белова, Т.К. Штукатурные растворы с улучшенными эксплуатационными свойствами на основе модифицированных сухих строительных смесей [Текст] / Т.К. Белова. – Евразийская наука. – 2019. – №11. – С.1–8.
4. Leal R.V.P., Sobrinho R.A.L., Souza M.T. Recycling diatomaceous earth waste: assessing its physicochemical features, recovery techniques, applications, viability and market opportunities //Clean Waste Systems. – 2025. – Vol.10. – Article 100244.
5. Потапова, Е. Технология сухих строительных смесей [Текст] / Е. Потапова. – М.: Инфра-Инженерия, 2023. – 376 с.
6. Ferreira R.L.S., Pinto L., Nóbrega A.F., Carneiro A.M.P. Diatomaceous earth: a review of its characteristics and effects on the properties of mortars //Construction and Building Materials. – 2024. – Vol.421. – Article 135711.
7. Nurlybayev R.E., Kuldeyev E.I., Yestemessova A.S., Altayeva Z.N., Orynbekov Y.S., Murzagulova A.A., Iskakov A.A., Abisheva G.K., Khamza Y.Y. Thermal insulation dry construction mixture based on diatomite // Coatings. – 2025. – Vol.15. – Article 811. https://doi.org/10.3390/coatings15070811
8. Кульдеев, Е.И. Сухие строительные смеси на основе модифицированного диатомита [Текст] / Е.И. Кульдеев, Р.Е. Нурлыбаев, А.С. Естемесова, З.Н. Алтаева, Е.С. Орынбеков. – Механика и технологии. – 2024. – №3 (85). – С.213–228. https://doi.org/10.55956/UFGO2185
9. Zhilkibayeva A., Yestemessova A., Zhakipbekov S., Matveeva L. Structural characteristics and performance of concrete with a composite modifying additive // Architecture and Engineering. – 2022. – Vol.7. – P.86–95.
10. Жилкибаева, А.М. Исследование свойств модифицированного вяжущего, полученного на основе отходов обогащения ГОК [Текст] / А.М. Жилкибаева, А.С. Естемесова, Л.Ю. Матвеева. – Вестник КазГАСА. – 2024. – №2 (92). – С.22–35.
11. Nurlybayev R.E., Kuldeyev E.I., Yestemessova A.S., Altayeva Z.N., Orynbekov Y.S., Sarsenbayev B.K. Energy-efficient dry construction mixtures based on modified diatomite // ES Materials and Manufacturing. – 2024. – Vol.25. – Article 25. https://doi.org/10.30919/esmm1220

12. Altayeva Z., Yestemessova A., Yespaeva A. Lightweight aggregates for concrete based on vegetable waste // Innovaciencia. – 2022. – Vol. 10. – No. 1. – P. 1–12. https://doi.org/10.15649/2346075X.2953
13. Yestemessova A., Altayeva Z., Sarsenbayev B., Budikova A., Karshygayev R. Modifying additive for concrete based on shungite processing waste // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 945. – 012042.
14. Alghamdi H., Shoukry H., Mim N.J., Khawaji M., Abadel A.A., Farouk M. Impact of waste rockwool on the performance of LC3-based lightweight mortar: a promising solution for greener construction // Construction and Building Materials. – 2024. – Vol. 443. – Article 137805.
15. Dyadichev V., Svinoroev Y.A., Dyadichev A.V. Dry mixes for casting manufacturing in single and small-scale production // Solid State Phenomena. – 2021. – Vol. 316. – P. 549–557.
16. Łach M., Gliścińska E., Przybek A., Smoroń K. The influence of diatomite on the sound absorption ability of composites // Materials. – 2024. – Vol. 17. – Article 4590.
17. Rehman W.U., Rehman A.U., Sharif Q.M., Yamin A. Exfoliation characteristics of Swat vermiculite clay and its application in the preparation of lightweight composite panels // Construction and Building Materials. – 2023. – Vol. 366. – Article 130200.
18. Литц, Г. Минеральные штукатурки: сухие строительные смеси, модифицированные дисперсными порошками [Текст] / Г. Литц. – Материалы Wacker Chemie GmbH (технологический центр, Бургхаузен), 2023.
19. Естемесова, А.С. Технология производства сухих строительных смесей с применением стекольного боя [Текст] / А.С. Естемесова. – Алматы: МОК (КазГАСА), 2019. – 109 с.
20. Khaleel Ibrahim S., Abbas Hadi N., Movahedi Rad M. Experimental and numerical analysis of steel–polypropylene hybrid fibre reinforced concrete deep beams // Polymers. – 2023. – Vol. 15. – Article 2340.
21. Kipsanai J.J., Wambua P.M., Namango S.S., Amziane S. A review on the incorporation of diatomaceous earth as a geopolymer-based concrete building resource // Materials. – 2022. – Vol. 15. – Article 7130.
22. Ruegenberg F., Schidlowski M., Brunner F., Selbmann K., Hilbig H. Assessing the effect of a white Portland cement admixture on the early frost-thaw resistance of NHL-based masonry mortar // Materials and Structures. – 2022. – Vol. 55. – Article 10.
23. Ouyang X., Yu L., Chen J., Wu K., Ma Y., Fu J. Roles of diatomite in hydration, microstructure and strength development of cement paste // Materials Today Communications. – 2023. – Vol. 37. – Article 107555.
24. Zhakipbekov Sh.K., Yestemessova A.S., Zhilkibayeva A. Physico-mechanical properties of heavy concrete with a complex mineral additive // The Scientific Journal of the Modern Education & Research Institute. – 2021. – Vol. 16. – P. 71–76.
25. Потапов, В.В. Физико-химические характеристики нанокремнезема (золь, нанопорошок) и микрокремнезема [Текст] / В.В. Потапов, Д.С. Гореев. – Фундаментальные исследования. – 2018. – №6. – С.23–29.

Материал поступил в редакцию 22.09.25, принят 20.01.26.

**А.С. Естемесова[1], Е.И. Кульдеев[2], Р.Е. Нурлыбаев[2],
З.Н. Алтаева[1], Е.С. Орынбеков[1]**

[1]Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан
[2]Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

ҚҰРҒАҚ ҚҰРЫЛЫС ЖЫЛУ ОҚШАУЛАҒЫШ ҚОСПАЛАРЫ

Аңдатпа. Мақалада модификацияланған байланыстырғыш, модификацияланған диатомит, перлитті құм және арнайы қоспалар кешені негізінде құрғақ құрылыс жылуоқшаулағыш қоспаларын зерттеу және әзірлеу нәтижелері келтірілген. Байланыстырғыш ЦЕМ II 32,5 портландцементі, кен байыту қалдықтары негізіндегі минералдық қоспа және микрокремнезем негізінде алынған, модификацияланған байланыстырғыштың белсенділігі 33,61 МПа құрайды. Диатомитті модификациялаудың оңтайлы температурасы 900°С екені анықталды, осы жағдайда қысу кезіндегі беріктік 5,02 МПа болды. Әзірленген жылуоқшаулағыш қоспалар М75 және М100 маркаларын көрсетті, су ұстау қабілеті нормативтен 2–4% жоғары. Қоспалардың жылуөткізгіштік коэффициенті 0,165 Вт/м°С-тен 0,183 Вт/м°С аралығында, бұл оларды жылуоқшаулағыш материалдарға жатқызуға мүмкіндік береді. Адгезиялық беріктік анықталды және оның шамасына негіз түрі әсер етеді: бетон негізі үшін Rсц = 0,35–0,41 МПа, кірпіш негізі үшін Rсц = 0,35–0,43 МПа, өсім 22,8% құрайды. Әрлеу жылуоқшаулағыш құрамының аязға төзімділігі F50 маркасына сәйкес келеді, сондай-ақ жанасу аймағының аязға төзімділігі Fкз50 маркасын көрсетті. Модификацияланған байланыстырғыш пен термиялық белсендірілген диатомитті қолдану жылуоқшаулағыш қоспалардың қысу беріктігін арттыратыны, ерте құрылымдық беріктіктің қалыптасуын күшейтетіні және цемент-диатомит-перлит қоспаларының қатаю үдерістерін жеделдететіні анықталды.

Тірек сөздер: модификацияланған байланыстырғыш, портландцемент, ГОК байыту қалдықтары, микрокремнезем, модификацияланған диатомит, кеңейтілген перлит құмы, қайта дисперсті полимер ұнтағы, суды ұстау қабілеті, жылуөткізгіштік, аязға төзімділік.

**A.S. Yestemessova[1], E.I. Kuldeyev[2], R.E. Nurlybayev[2],
Z.N. Altayeva[1], Y.S. Orynbekov[1]**

[1]International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan
[2]K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan

DRY BUILDING THERMAL INSULATION MIXTURES

Abstract. The article presents the results of research and development of dry construction thermal insulation mixtures based on a modified binder, modified diatomite, perlite sand, and a complex of special additives. The binder was obtained on the basis of Portland cement CEM II 32.5, a mineral additive derived from mining and processing waste, and microsilica; the activity of the modified binder is 33.61 MPa. The optimal temperature for diatomite modification was established at 900°C, at which the compressive strength reached 5.02 MPa. The developed thermal insulation mixtures demonstrated strength grades of M75 and M100, with water retention capacity exceeding the standard by 2–4%. The thermal conductivity coefficient of the compositions ranges from 0.165 to 0.183 W/m·°C, which allows them to be classified as thermal insulation materials. Adhesive strength was determined and found to depend on the type of substrate: for a concrete base, $R_a d_h$ = 0.35-0.41 MPa, and for a brick base, $R_a d_h$ = 0.35-0.43

MPa, with an increase of 22.8%. The frost resistance of the finishing thermal insulation composition corresponds to grade F50, and the frost resistance of the contact zone also corresponds to grade $F_{kz}50$. It was established that the use of a modified binder and thermally activated diatomite increases the compressive strength of thermal insulation mixtures, enhances early structural strength, and accelerates the hardening processes of cement-diatomite-perlite systems.

Keywords: modified binder, Portland cement, mining waste, microsilica, modified diatomite, expanded perlite sand, redispersible polymer powder, water retention capacity, thermal conductivity, frost resistance.

References

1. Dergunov P.S.A., Orekhov P.S.A. Sukhie stroitel'nye smesi (sostav, tekhnologiya, svoystva) [Dry construction mixtures (composition, technology, properties)] // Textbook. – Orenburg: OGU, 2012. – 106 p. [in Russian].
2. Bazhenov Yu.M., Korovyakov V.F., Denisov G.A. Tekhnologiya sukhikh stroitel'nykh smesei [Technology of dry construction mixtures]: Textbook. – 2-nd ed. – M.: ASV, 2011. – 112 p. [in Russian].
3. Belova T.K. Shtukturnye rastvory s uluchshennymi ekspluatatsionnymi svoystvami na osnove modifitsirovannykh sukhikh stroitel'nykh smesei [Plaster mortars with improved operational properties based on modified dry construction mixtures] // Evraziyskaya nauka. – 2019. – No 11. – P. 1–8. [in Russian].
4. Leal R.V.P., Sobrinho R.A.L., Souza M.T. Recycling diatomaceous earth waste: assessing its physicochemical features, recovery techniques, applications, viability and market opportunities // Clean Waste Systems. – 2025. – Vol. 10. – Article 100244.
5. Potapova E. Tekhnologiya sukhikh stroitel'nykh smesei [Technology of dry construction mixtures]: Textbook. – M.: Infra-Inzheneriya, 2023. – 376 p. [in Russian].
6. Ferreira R.L.P.S., Pinto L., Nóbrega A.F., Carneiro A.M.P. Diatomaceous earth: a review of its characteristics and effects on the properties of mortars // Construction and Building Materials. – 2024. – Vol. 421. – Article 135711.
7. Nurlybayev R.E., Kuldeyev E.I., Yestemessova A.P. [IN RUSSIAN]., Altayeva Z.N., Orynbekov Y.P.S., Murzagulova A.A., Iskakov A.A., Abisheva G.K., Khamza Y.Y. Thermal insulation dry construction mixture based on diatomite // Coatings. – 2025. – Vol. 15. – Article 811. https://doi.org/10.3390/coatings15070811
8. Kuldeyev E.I., Nurlybayev R.E., Yestemessova A.S., Altayeva Z.N., Orynbekov E.S. Sukhie stroitel'nye smesi na osnove modifitsirovannogo diatomita [Dry construction mixtures based on modified diatomite] // Mechanics and Technology. – 2024. – No. 3 (85). – P. 213–228. https://doi.org/10.55956/UFGO2185. [in Russian].
9. Zhilkibayeva A., Yestemessova A., Zhakipbekov P.S., Matveeva L. Structural characteristics and performance of concrete with a composite modifying additive // Architecture and Engineering. – 2022. – Vol. 7. – P. 86–95.
10. Zhilkibayeva A.M., Yestemessova A.P.S., Matveeva L.Yu. Issledovanie svoystv modifitsirovannogo vyazushchego, poluchennogo na osnove otkhodov obogashcheniya GOK [Study of properties of modified binder obtained from enrichment waste of mining and processing plant] // Vestnik KazGASA. – 2024. – No. 2 (92). – P. 22–35. [in Russian].
11. Nurlybayev R.E., Kuldeyev E.I., Yestemessova A.P.S., Altayeva Z.N., Orynbekov Y.P.S., Sarsenbayev B.K. Energy-efficient dry construction mixtures based on modified diatomite // ES Materials and Manufacturing. – 2024. – Vol. 25. – Article 25. https://doi.org/10.30919/esmm1220

12. Altayeva Z., Yestemessova A., Yespaeva A. Lightweight aggregates for concrete based on vegetable waste // Innovaciencia. – 2022. – Vol. 10. – No. 1. – P. 1–12. https://doi.org/10.15649/2346075X.2953
13. Yestemessova A., Altayeva Z., Sarsenbayev B., Budikova A., Karshygayev R. Modifying additive for concrete based on shungite processing waste // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 945. – 012042.
14. Alghamdi H., Shoukry H., Mim N.J., Khawaji M., Abadel A.A., Farouk M. Impact of waste rockwool on the performance of LC3-based lightweight mortar: a promising solution for greener construction // Construction and Building Materials. – 2024. – Vol. 443. – Article 137805.
15. Dyadichev V., Svinoroev Y.A., Dyadichev A.V. Dry mixes for casting manufacturing in single and small-scale production // Solid State Phenomena. – 2021. – Vol. 316. – P. 549–557.
16. Łach M., Gliścińska E., Przybek A., Smoroń K. The influence of diatomite on the sound absorption ability of composites // Materials. – 2024. – Vol. 17. – Article 4590.
17. Rehman W.U., Rehman A.U., Sharif Q.M., Yamin A. Exfoliation characteristics of Swat vermiculite clay and its application in the preparation of lightweight composite panels // Construction and Building Materials. – 2023. – Vol. 366. – Article 130200.
18. Litz G. Mineral'nye shtukaturki: sukhie stroitel'nye smesi, modifitsirovannye dispersnymi poroshkami [Mineral plasters: dry construction mixtures modified with dispersed powders]. – Materialy Wacker Chemie GmbH (tekhnologicheskiy tsentr, Burghausen), 2023. [in Russian].
19. Yestemessova A.P.S. Tekhnologiya proizvodstva sukhikh stroitel'nykh smesei s primeneniem stekol'nogo boya [Technology of dry construction mixtures using glass cullet] // Monografiya. – Almaty: MOK (KazGASA), 2019. – 109 p. [in Russian].
20. Khaleel Ibrahim P.S., Abbas Hadi N., Movahedi Rad M. Experimental and numerical analysis of steel–polypropylene hybrid fibre reinforced concrete deep beams // Polymers. – 2023. – Vol. 15. – Article 2340.
21. Kipsanai J.J., Wambua P.M., Namango P.S.P.S., Amziane P.S. A review on the incorporation of diatomaceous earth as a geopolymer-based concrete building resource // Materials. – 2022. – Vol. 15. – Article 7130.
22. Ruegenberg F., Schidlowski M., Brunner F., Selbmann K., Hilbig H. Assessing the effect of a white Portland cement admixture on the early frost-thaw resistance of NHL-based masonry mortar // Materials and Structures. – 2022. – Vol. 55. – Article 10.
23. Ouyang X., Yu L., Chen J., Wu K., Ma Y., Fu J. Roles of diatomite in hydration, microstructure and strength development of cement paste // Materials Today Communications. – 2023. – Vol. 37. – Article 107555.
24. Zhakipbekov Sh.K., Yestemessova A.P.S., Zhilkibayeva A. Physico-mechanical properties of heavy concrete with a complex mineral additive // The Scientific Journal of the Modern Education & Research Institute. – 2021. – Vol. 16. – P. 71–76.
25. Potapov V.V., Goreev D.P.S. Fiziko-khimicheskie kharakteristiki nanokremnezema (zol', nanoporoshok) i mikrokremnezema [Physico-chemical characteristics of nanosilica (sol, nanopowder) and microsilica] // Fundamental'nye issledovaniya. – 2018. – No. 6. – P. 23–29. [in Russian].

ҒТАМР 67.09.31

Н.К. Кожакулов[1] – *негізгі автор*,
Б.Т. Копжасаров[2], **С.М. Моминова**[3],
С.Т. Дуйсенбаева[4], **Г.Т. Копжасарова**[5]

©

[1]Докторант, [2]Профессор, [3]PhD, аға оқытушы, 4Техн.ғылым.канд., доцент, [5]Аға оқытушы

ORCID *[2]https://orcid.org/0000-0001-9163-2879 [3]https://orcid.org/0000-0001-5005-9826 [4]https://orcid.org/0009-0009-4031-370X [5]https://orcid.org/0009-0008-6735-0458*

[1,2,3,5]М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті, Шымкент, Қазақстан
[4]Қазақ ұлттық Су шаруашылығы және ирригация университеті, Тараз, Қазақстан

@ *[1]kknurjan77@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/WCIL8851

ГИПС ТҰТҚЫРЫНЫҢ БЕКУІ МЕН ҚАТУЫНА ОРТОФОСФОР ҚЫШҚЫЛЫНЫҢ ӘСЕРІ

Аңдатпа. Бұл мақалада ортофосфор қышқылының әртүрлі жағдайларда алынған тұтқырлардың бекуі мен қатайту процесіне әсер ету мүмкіндіктері қарастырылады. Әр түрлі концентрациядағы ортофосфор қышқылының гипс тұтқырының негізгі физика-механикалық қасиеттеріне әсері зерттелді. Жүргізілген зерттеулердің нәтижелері бойынша фосфор қышқылының ерітіндісінде кристалданатын кальций сульфаты жартылай гидратының гидратация жылдамдығы бақылау жартылай гидратының (судағы гидратация) гидратация жылдамдығынан әлдеқайда аз және ерітіндідегі қышқыл концентрациясына тәуелді екендігі анықталды. Бастапқы кезеңде жартылай гидраттың баяу ылғалдануы тән, бұл кристалдардың бетінде қаптамалардың пайда болу мүмкіндігін көрсетеді. Жүргізілген зерттеулер ортофосфор қышқылының сулы ерітінділерімен өңдеу кезінде жартылай сулы гипстің қайта кристалдануы ерітінді арқылы да, қатты фазада да жүреді, ал ерітіндіде жартылай гидраттың еруі және дигидрат кристалдарының түзілуі бір мезгілде жүреді деген қорытынды жасауға мүмкіндік береді.

Тірек сөздер: ортофосфор қышқылы, гипс, су, ерітінді, гидрат, концентрация, тұтқыр, орнату, қатаю, кристалдар.

Кожакулов, Н.К. Гипс тұтқырының бекуі мен қатуына ортофосфор қышқылының әсері [Мәтін] / Н.К. Кожакулов, Б.Т. Копжасаров, С.М. Моминова, С.Т. Дуйсенбаева, Г.Т. Копжасарова //Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.348-353. https://doi.org/10.55956/WCIL8851

Кіріспе. Суда кальций сульфатының кристалдануы тұрақты еру және басқа метастабильді форманың тұнуы немесе коллоидтық күй немесе коллоидтық түзілу арқылы, содан кейін кристалдана отырып жүруі мүмкін деген пікірлер бар. Сондай-ақ тікелей қатты фазада судағы кальций сульфатының басқа түрге ауысуы туралы деректер бар [1].

Ортофосфор қышқылының тұтқыр заттардың бекуі мен қатаюы процесіне әсері туралы әдебиетте жеткілікті ақпарат жоқ.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Зерттеу барысында стандартты дифференциалдық-термиялық талдау (ДТА) әдістері және рентгенофазалық талдау (РФА) әдістері жүргізілді, аккредиттелген зертханаларда сынақтар өткізілді. Гипс байланыстырғыштың негізгі физика-механикалық қасиеттеріне әртүрлі концентрациядағы портофосфор қышқылының әсерін зерттеу көрсеткендей, 20% қышқылмен өңдеген кезде гипс баяу қатаяды: беку 5 сағаттан кейін басталады, соңы 6 сағаттан кейін. қышқыл концентрациясының 30%-ға дейін жоғарылауымен беку уақыты одан да ұзарады: басталуы 15 сағаттан кейін, соңы 20 сағаттан кейін. Ал 50% қышқылмен өңделген кезде гипс іс жүзінде бекімейді және қатпайды (1-кесте).

Алынған нәтижелер деректерге сәйкес келеді [2]. Зерттеулер көрсеткендей, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (90%-дан астам) дигидратының жоғары құрамды болуына байланысты экстракциялық фосфор қышқылын өндіруден алынған кальций сульфаты ұзақ беку уақытымен және төмен соңғы беріктігімен сипатталады. Фосфор қышқылының ерітіндісінде кристалданатын кальций сульфаты жартылай гидратының гидратация жылдамдығы бақылау жартылай гидратының (судағы гидратация) гидратация жылдамдығынан әлдеқайда аз және ерітіндідегі қышқыл концентрациясына тәуелді екендігі анықталды. Бастапқы кезеңде жартылай гидраттың баяу ылғалдануы тән, бұл кристалдардың бетінде қабықшалардың пайда болу мүмкіндігін көрсетеді.

Кесте 1

H_3PO_4 концентрациясының гипс тұтқыр беріктігіне әсері

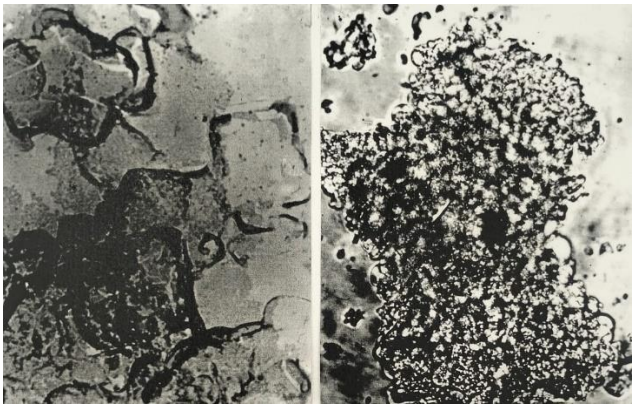
H_3PO_4 концен-трациясы, %	Р/Т, мл/г	Суттард бойынша аққыштық, мм	Беку уақыты, сағ-мин		Беріктік шегі, МПа	
			басы	аяғы	Сығу кезінде	Иілу кезінде
0	0,59	180	0-5	0-18	7,6	3,7
20	0,60	178	5-09	6-25	0,15	0,1
30	0,52	176	15-01	20-00	Беріктік жоқ	
50	0,62	180	қатаю жоқ		Беріктік жоқ	

Қазіргі уақытта кальций сульфаты фосфор қышқылына айналатын түрлендірулердің әртүрлілігін түсіндіретін бірдей көзқарас жоқ. Өткен ғасырдың 30-шы жылдарының аяғы мен 50-ші жылдардың басында жарияланған А.П. Белопольский, А.А. Таперова, М.Н. Шульгиналардың классикалық зерттеулері фосфорқышқылды ерітінділердегі кальций сульфатының әртүрлі формаларының өзара өзгеруінің күрделілігін көрсетті. Кальций сульфатының полиморфты формаларының ерігіштігі туралы мәліметтерге сүйене отырып, бір реттік ауысу екі сатыда жүзеге асырылады деген қорытынды жасалды: алдымен метастабильді фазаға қатысты қаныққан ерітінді түзу үшін тұрақты фазаның еруі, содан кейін қаныққан ерітіндіден метастабильді фазаның кристалдануы жүреді [3].

Экстракциялық фосфор қышқылындағы кальций сульфаты дигидратының фазалық өзгерістері мен қайта кристалдануын бақылай отырып, дигидратты жартылай гидратқа өтуі екі жолмен жүретіні атап өтілді. 1-суретте кристалдық тордан суды кетіру нәтижесінде кальций сульфаты дигидратының бұзылуының бастапқы кезеңі көрсетілген. Сонымен қатар, β-формада жартылай гидрат пайда болады.

Сурет 1. Қатты фазада жартылай гидратқа айналатын кальций сульфаты дигидраты кристалдарының микрофотографиясы, ×240 ұлғайту

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Жүргізілген зерттеу нәтижелеріне сәйкес, 3 сағат ішінде кальций сульфатының жартылай гидрат кристалдары бастапқы пішінін сақтайды, бірақ 5-8 сағат гидратацияда болашақ дигитрат кристалдарының түзілуі байқалады. 4-суретте 20% ортофосфор қышқылындағы 5-жартылай гидрат кристалдарының ыдырауының бастапқы кезеңі көрсетілген. Жартылай гидрат кристалдарының бір бөлігі толығымен ерігенше бүтін болып көрінеді. Жаңа кристалдардың еруі мен өскін түзілу процестері бір уақытта жүреді, ал микрофотографияда ыдырайтын жартылай гидраттың (сурет 4а) және дигидрат кристалдарына толы жартылай гидраттың (4-сурет) кристалдары көрінеді. Қайта кристалдану процесіне шамамен 15 сағат жұмсалады. Қос сулы гипс кристалдарының пайда болуы 10-15 сағат қатаюдан кейін байқалады

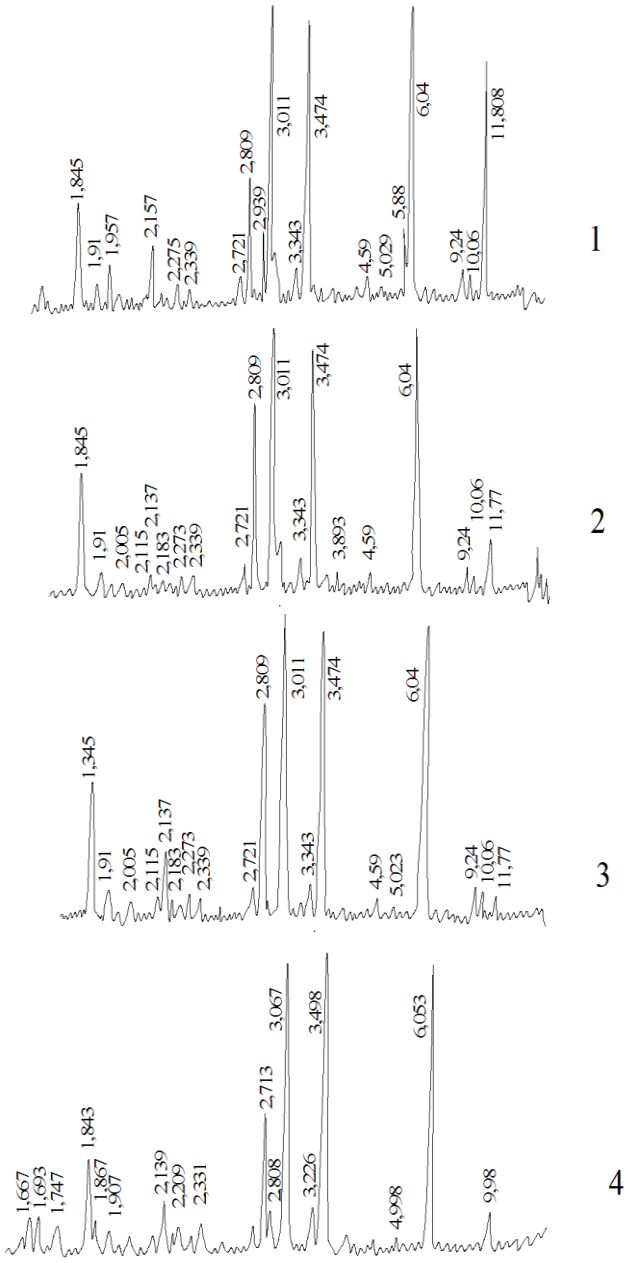


а б

Сурет 2. Кристалдардың микрофотографиясы: а – β-жартылай гидратының еруі; б – $CaSO_4$ дигидратының массалық кристалдануы

Әр түрлі концентрациядағы ортофосфор қышқылымен сулы ерітінділермен өңделген, сондай-ақ суда гидратталған гипс тұтқыр сынамаларының рентгенограммалары 3-суретте көрсетілген. Суда гидратталған бақылау гипсінің рентгенограммасында негізінен екі сулы гипске жататын ең жоғары сызықтарға ие – 6,04; 3,47; 3,07; 1,84 А. Қышқылмен өңделген гипс тұтқыр рентгенограммаларында жартылай сулы гипске жататын сызықтар қалады – 3,47; 3,01; 2,809; 2,72; 2,13 А. Сонымен

қатар, қышқылдың концентрациясы неғұрлым жоғары болса, гидратталмаған жартылай сулы гипстің ең жоғары сызықтарының қарқындылығы соғұрлым жоғары болады.



Сурет 3. H_3PO_4 өңделген гипс рентгенограммасы: 1 – гипс + 50% H_3PO_4; 2 – гипс + 30 % H_3PO_4; 3 – гипс + 20 % H_3PO_4; 4 – гипс + су

Жүргізілген зерттеулер ортофосфор қышқылының сулы ерітінділерімен өңдеу кезінде жартылай сулы гипстің қайта кристалдануы ерітінді арқылы да, қатты фазада да жүреді, ал ерітіндіде жартылай гидраттың еруі және дигидрат кристалдарының түзілуі бір мезгілде жүреді деген қорытынды жасауға мүмкіндік береді. Алайда, қышқыл ерітіндісіндегі қайта кристалдану

процесі айтарлықтай баяулайды, бұл ортофосфор қышқылының қатысуымен кальций сульфаты жартылай гидратының тұтқыр қасиеттерінің төмендеуінің себебі кристалдардың бетінде түзілетін дигидраттың ерімейтін қабықтары, сондай-ақ кристалдардың ішкі құрылымының өзгеруі, мүмкін, кристалдық торға қоспа элементтерінің енгізілуіне байланысты деген тұжырымды жанама түрде растайды.

Қорытынды. Осылайша, зерттеулер көрсеткендей, ортофосфор қышқылының ерітінділерінде жартылай сулы гипс баяу қатайтатын тұтқыр болады, ал қышқылдың жоғары концентрациясы 50% немесе одан да көп болғанда бекімейді немесе қатаймайды.

Ең жақсы физикалық-механикалық қасиеттері бар өнімдерді өндіруді қамтамасыз ететін ұялы бетонның ең жақсы құрылымы бір уақытта жүретін екі процестің – газдың пайда болуының, пластикалық беріктіктің (бекудің) жоғарылауының үйлестіруімен қол жеткізіледі [4]. Бұл процестерді үйлестіру үшін әдетте әртүрлі химиялық қоспалар қолданылады.

Әдебиеттер тізімі

1. Горчаков, Г.И. Технология вяжущих материалов [Текст] / Г.И. Горчаков. – М.: Высшая школа, 1990.
2. Коломиец, В.П. Вяжущие материалы [Текст]: учеб. пособие / В.П. Коломиец, И.А. Лабутина. – М.: АСВ, 2012.
3. Ким, А.В. Модификация гипсовых вяжущих химическими добавками [Текст]: дис. … канд. техн. наук / А.В. Ким. – М.: МГСУ, 2013.
4. Елсунцов, Д.С. Физико-химические процессы твердения гипсовых систем с кислотными добавками [Текст] / Д.С. Елсунцов. – М.: МГСУ, 2017.

Материал редакцияға 01.12.25 түсті, 24.02.26 қабылданды.

Н.К. Кожакулов[1], Б.Т. Копжасаров[1], С.М. Моминова[1], С.Т. Дуйсенбаева[2], Г.Т. Копжасарова[1]

[1]Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахста
[2]Казахский национальный университет водного хозяйства и мелиорации, Тараз, Казахстан

ВЛИЯНИЕ ОРТОФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ НА СХВАТЫВАНИЕ И ТВЕРДЕНИЕ ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО

Аннотация. В данной статье рассмотрены возможности влиянии ортофосфорной кислоты на процесс схватывания и твердения вяжущих полученных результатов в различных условиях. Изучены влияния ортофосфорной кислоты различной концентрации на основные физико-механические свойства гипсового вяжущего. По результатам проведенных исследований, было установлено, что скорость гидратации полугидрата сульфата кальция, кристаллизующегося в растворе фосфорной кислоты, намного меньше скорости гидратации контрольного полугидрата (гидратация в воде) и зависит от концентрации кислоты в растворе. Характерна замедленная гидратация полугидрата в начальный период, что указывает на возможность образования пленок на поверхности кристаллов. Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что перекриссталлизация полуводного гипса при обработке водными растворами ортофосфорной кислоты протекает как через раствор, так и в твердой фазе, причем в растворе одновременно происходит растворение полугидрата и образование кристаллов дигидрата.

Ключевые слова: ортофосфорная кислота, гипс, вода, раствор, гидрат, концентрация, вяжущее, схватывание, твердение, кристаллы.

N. Kozhakulov[1], B. Kopzhasarov[1], S. Mominova[1],
S. Duisenbayeva[2], G. Kopzhasarova[1]

[1]M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan
[2]Kazakh National University of Water Management and Irrigation,
Taraz, Kazakhstan

THE EFFECT OF ORTHOPHOSPHORIC ACID ON THE SETTING AND HARDENING OF GYPSUM BINDER

Abstract. This article discusses the possibilities of the influence of orthophosphoric acid on the setting and hardening of binders of the obtained results under various conditions. The effects of orthophosphoric acid of various concentrations on the basic physical and mechanical properties of gypsum binder have been studied. According to the results of the studies, it was found that the hydration rate of calcium sulfate semihydrate crystallizing in phosphoric acid solution is much lower than the hydration rate of the control semihydrate (hydration in water) and depends on the concentration of acid in the solution. Delayed hydration of the semihydrate in the initial period is characteristic, which indicates the possibility of film formation on the crystal surface. The conducted studies allow us to conclude that the recrystallization of semi-aqueous gypsum during treatment with aqueous solutions of orthophosphoric acid proceeds both through the solution and in the solid phase, with the solution simultaneously dissolving the semihydrate and forming dihydrate crystals.

Keywords: orthophosphoric acid, gypsum, water, solution, hydrate, concentration, binder, setting, hardening, crystals.

References

1. Gorchakov G.I. Tekhnologiya vyazhushchikh materialov [Technology of Binding Materials]. – M.: Vysshaya shkola, 1990. [in Russian].
2. Kolomiets V.P., Labutina I.A. Vyazhushchie materialy [Binding Materials]: Textbook– Moscow: ASV, 2012. [in Russian].
3. Kim A.V. Modifikatsiya gipsovykh vyazhushchikh khimicheskimi dobavkami [Modification of Gypsum Binders with Chemical Additives]: Dissertation … Candidate of Technical Sciences. – Moscow: MGSU, 2013. [in Russian].
4. Elsuntsov D.S. Fiziko-khimicheskie protsessy tverdeniya gipsovykh sistem s kislotnymi dobavkami [Physico-Chemical Processes of Gypsum Systems Hardening with Acid Additives]. – Moscow: MGSU, 2017. [in Russian].

МРНТИ 67.01.45 : 70.17.31 : 70.17.33

М. Оралсынкызы[1] – *основной автор*,
М.Н. Сенников[2], С.К. Джолдасов[3], М. Абдиров[4], Н. Шорабаева[5], М.Т. Байжигитова[6], П.М. Абдирова[7]

©

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

ORCID *[1]https://orcid.org/0009-0000-6629-6842 [2]https://orcid.org/0000-0003-4944-2128*
[3]https://orcid.org/0000-0002-3947-1411 [4]https://orcid.org/0009-0008-2499-9513
[5]https://orcid.org/0009-0004-5827-9531

[1,2,3,4,6,7]Казахский Национальный университет водного хозяйства и ирригации, Тараз, Казахстан
[5]Международный Таразский университет им. Ш. Муртазы, Тараз, Казахстан

@ *[3]arnur_68@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/TISK1518

ОБ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ СТРОИТЕЛЬСТВА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ КОКСАРАЙСКОГО КОНТРРЕГУЛЯТОРА

Аннотация. Статья посвящена анализу инженерно-геологических условий строительных площадок проектируемых гидротехнических сооружений Коксарайского контррегулятора – одного из ключевых объектов водохозяйственного значения в долине реки Сырдарья. В работе рассмотрены геоморфологические особенности района, стратиграфия, литологический состав, физико-механические свойства грунтов, а также уровень и режим подземных вод. Проведена комплексная оценка геологических и гидрогеологических факторов, оказывающих влияние на проектирование и строительство водосбросов, дамб и каналов. Особое внимание уделено инженерно-геологическому районированию и выделению участков с потенциальными рисками: просадочными, набухающими и засоленными грунтами. Результаты исследования являются основой для корректного инженерного обоснования проектных решений и повышения экологической и техногенной устойчивости сооружений. Дополнительно в статье представлены результаты лабораторных исследований образцов грунтов, отобранных с различных глубин в пределах предполагаемых строительных площадок. Проанализированы особенности сезонных колебаний уровня грунтовых вод и их влияние на устойчивость оснований сооружений. Представлены рекомендации по инженерной подготовке площадок и укреплению оснований с учетом специфики местных геологических условий.

Ключевые слова: инженерно-геологические изыскания, Коксарайский контррегулятор, гидротехнические сооружения, физико-механические свойства грунтов, геотехнический мониторинг, гидрогеологические условия, устойчивость оснований.

Оралсынкызы, М. Об инженерно-геологических условиях строительства гидротехнических сооружений Коксарайского контррегулятора [Текст] / М. Оралсынкызы, М.Н. Сенников, С.К. Джолдасов, М. Абдиров, Н. Шорабаева, М.Т. Байжигитова, П.М. Абдирова // Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №1(91). – С.354-367. https://doi.org/10.55956/TISK1518

Введение. Разработка и строительство гидротехнических сооружений требует всестороннего изучения природных условий, в первую очередь – инженерно-геологических. Надежность, устойчивость и долговечность таких сооружений напрямую зависят от свойств грунтов основания, гидрогеологических процессов и сейсмической активности района. Особую актуальность данная проблема приобретает при проектировании Коксарайского контррегулятора – важнейшего водохозяйственного объекта, предназначенного для регулирования стока реки Сырдарья, снижения паводковых рисков и обеспечения устойчивого водоснабжения орошаемых земель юга Казахстана.

Площадки строительства сооружений контррегулятора располагаются в сложных инженерно-геологических условиях, характеризующихся разнообразием литологических разностей, наличием подземных вод, потенциальными оползневыми и просадочными процессами. В таких условиях необходимо тщательно анализировать геологическое строение, инженерно-геологические процессы и физико-механические свойства грунтов для обоснования проектных решений и выбора оптимальных конструктивных решений.

В последние годы возрос интерес к комплексной оценке инженерно-геологических условий в рамках устойчивого природопользования и снижения техногенного воздействия на окружающую среду. Проведение инженерно-геологических изысканий позволяет не только обеспечить безопасность строящихся объектов, но и оптимизировать затраты на строительство, предупредить аварийные ситуации и обеспечить рациональное использование ресурсов территории.

Настоящая статья направлена на всесторонний анализ инженерно-геологических условий площадок строительства проектируемых гидротехнических сооружений Коксарайского контррегулятора. Основное внимание уделяется стратиграфии, геоморфологии, гидрогеологии и геодинамическим особенностям района. Результаты исследования являются основой для корректного инженерного обоснования проектных решений и повышения экологической и техногенной устойчивости сооружений.

Инженерно-геологические изыскания проводились на всех площадках строительства построенных гидротехнических сооружений ККР, а также на карьерах и др. объектах, а именно:

- на площадке головного гидроузла;
- на участке спрямления русла р. Сырдарьи;
- на участках левобережной и правобережной дамб;
- вдоль трассы подводящего канала;
- на площадке мостового перехода через подводящий канал на ПК 53;
- на площадке сопрягающего сооружения на ПК 158+48 подводящего канала;
- вдоль трассы прокопа (продолжения подводящего канала);
- в пределах чаши ККР;
- вдоль трассы плотины контррегулятора;
- на площадке водовыпускного сооружения;
- вдоль трассы отводящего канала;
- на площадке мостового перехода через отводящий канал (а/д Шардара-Туркестан);
- на участке дамбы ограждения городища.

Особое внимание в исследовании уделяется оценке физико-механических характеристик грунтов, которые непосредственно влияют на выбор типа фундаментов и методы закрепления основания. Также рассматриваются потенциальные геологические риски, включая возможность развития фильтрационных деформаций и подтопления, что особенно важно при эксплуатации водохранилищ и водосбросных сооружений. Анализ данных полевых и лабораторных исследований позволил выявить участки с неблагоприятными геотехническими свойствами, требующими дополнительных инженерных мероприятий. В статье представлены рекомендации по инженерной подготовке площадок и укреплению оснований с учетом специфики местных геологических условий. Полученные результаты могут быть использованы при дальнейшей реконструкции и строительстве объектов Коксарайского контррегулятора, а также при аналогичных работах на других гидротехнических объектах в регионе.

Материалы и методы исследований. Инженерно-геологические изыскания на площадках строительства построенных гидротехнических сооружений Коксарайского контррегулятора (ККР) выполнялись в соответствии с действующими нормативными документами Республики Казахстан по инженерным изысканиям для строительства (СН РК 3.04-09-2018, СП 58.13330.2019 и др.) [1-4]. Целью данных работ являлось комплексное изучение геологического строения, физических и механических свойств грунтов, гидрогеологических и геотехнических условий площадок, необходимых для проектирования и обеспечения надежности сооружений ККР. В работе также использованы труды ученых по контролю состояния гидротехнических сооружений, по инженерно-геофизическим изысканиям на гидротехнических объектах, по применению интегральных ГИС-моделей для оценки риска разрушения земляных плотин и др. [5-19].

Полевые изыскания проводились на всех ключевых участках строительства – от головного гидроузла и трассы подводящего канала до плотины контррегулятора и отводящего канала. Исследования включали бурение инженерно-геологических скважин на глубину до 30,5 м, отбор проб ненарушенной структуры, выполнение статического и динамического зондирования, а также лабораторные испытания грунтов. В общей сложности было пробурено более нескольких десятков скважин, равномерно распределённых по всей площади проектных зон, включая левобережные и правобережные дамбы, участки спрямления русла р. Сырдарьи, площадки мостовых переходов, карьеры строительных материалов и объекты инженерной защиты.

Лабораторные исследования включали определение гранулометрического состава, влажности, плотности частиц грунта, коэффициента фильтрации, пределов прочности, угла внутреннего трения и сцепления, а также консистенции глинистых пород. Все анализы выполнялись в аккредитованных лабораториях с использованием стандартных методик (СН РК 3.04-09-2018, СП 58.13330.2019 и др.) [1-4]. На основе полученных данных были построены графики гранулометрического состава песчаных грунтов и определены инженерно-геологические элементы (ИГЭ), среди которых выделены пески пылеватые, мелкие и средней крупности, супеси и суглинки зоны аэрации, а также глины четвертичного и неогенового возраста.

Для интерпретации данных применялись методы статистической обработки и геотехнического анализа, позволяющие определить нормативные и расчётные значения прочностных и деформационных характеристик грунтов. Расчёты выполнялись с использованием программных комплексов геотехнического моделирования (GeoStudio, Plaxis, AutoCAD Civil 3D) для построения разрезов и оценки устойчивости грунтовых массивов.

Полученные результаты позволили выявить инженерно-геологические особенности каждого участка строительства и дать оценку пригодности грунтов для возведения гидротехнических сооружений. На основании совокупных данных был разработан инженерно-геологический разрез и составлены карты-паспорта участков, что обеспечило научную и практическую основу для дальнейшей реконструкции Коксарайского контррегулятора.

Результаты исследований и их обсуждение. В пределах проектного участка, на разведанную глубину, песчаные грунты выделены и объединены в три ИГЭ. Пылеватые и мелкие пески залегают как в зоне аэрации, так и в зоне водонасыщения. Обводненная толща характеризуется преобладанием песков мелких с прослоями песков средней крупности и песков пылеватых. Подошва песчаныхгрунтов залегает на глубине от 18,5 до 19,3 м. Подстилаются песчаные отложения четвертичными глинами. В природном залегании пески имеют в основном среднюю плотность сложения (определено по лабораторным данным и данным статического и динамического зондирования). На рисунке 1. показаны кривые гранулометрического состава песчаных грунтов. Пески пылеватые характеризуется довольно однородным фракционным составом (рис. 1). В зоне аэрации содержание пылевато-глинистых фракций (<0,1мм) до 71%, а в зоне водонасыщения наоборот отмечается преобладание песчаной фракции (0,1-1,0мм) до 55,9%. Пески мелкие вскрываются в основном в зоне водонасыщения, реже в зоне аэрации. По степени неоднородности характеризуются как однородные (рис.1). Пески средней крупности имеют подчиненное значение и залегают в виде прослоев среди песков мелких. По степени неоднородности характеризуются как однородные (рис. 1).

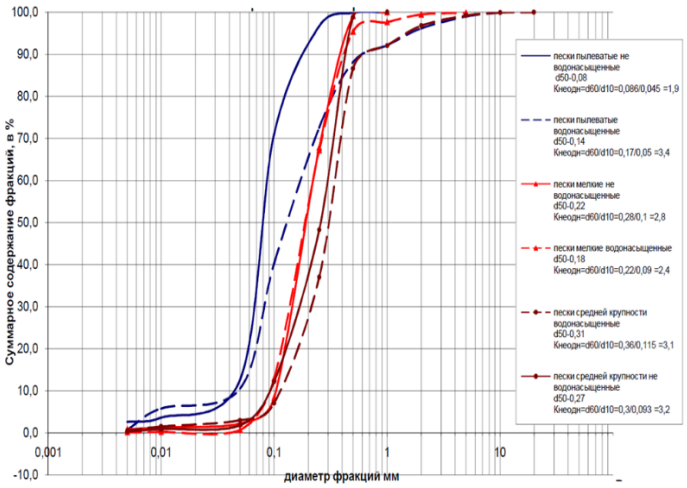


Рис. 1. Кривые гранулометрического состава песчаных грунтов Коксарайского водохранилища

В таблицах 1-3 приведены нормативные и расчетные значения геотехнических характеристик песчаных грунтов ИГЭ-1, ИГЭ-2 и ИГЭ-3, полученные после статистической обработки результатов испытаний. В таблице 4 приводятся данные осредненного гранулометрического состава песчаных грунтов. Содержание песчаной фракции (0,1-1,0мм) изменяется в небольших пределах от 87,9 до 89,6% (табл. 4.). Частные значения характеристик песчаных грунтов приведены в соответствующих таблицах карты-паспорта головного гидроузла.

Таблица 1

Нормативные и расчетные значения основных физико-механических характеристик песков пылеватых (ИГЭ-1)

№ п/п	Наименование характеристики	Обозначение	Единица измерения	Неводо-насыщенные	насыщенные водой
1	Плотность грунта природной влажности То же при доверительной вероятности: 0,85 (по деформациям) 0,95 (по несущей способности)	ρ	г/см^3 -//- -//-	1,66 1,66 1,65	1,88 1,88 1,88
2	Плотность сухого грунта То же при доверительной вероятности: 0,85 (по деформациям) 0,95 (по несущей способности)	ρ_d	г/см^3 -//- -//-	1,51 1,51 1,51	1,54 1,54 1,54
3	Плотность частиц грунта	ρ_s	г/см^3	2,66	2,67
4	Природная влажность	W	%	10,1	21,7
5	Пористость	n	%	43,5	42,3
6	Коэффициент пористости	e	д.е.	0,78	0,74
7	Коэффициент водонасыщения	S_r	д.е.	0,32	0,79
	Механические характеристики				
8	Удельное сцепление: а) нормативное б) при доверительной вероятности: 0,85 (по деформациям) 0,95 (по несущей способности)	 C_n C_{II} C_I	 кПа (кгс/см^2) -//- -//-	 1 (0,01) 1 (0,01) 0,67(0,007)	 0,00 0,00 0,00
9	Угол внутреннего трения: а) нормативный б) при доверительной вероятности: 0,85 (по деформациям) 0,95 (по несущей способности)	 φ_n φ_{II} φ_I	 Градус -//- -//-	 30 30 27	 29 29 26
10	Модуль деформации в интервале нагрузок 0,1-0,2МПа	E	МПа	20	19
11	Расчетное сопротивление	R_0	кПа	250	100

Примечание: а) механические характеристики приведены по результатам испытаний грунта статическим зондированием; б) допускаемое расчетное сопротивление на грунт приведено в соответствии со СНиП 2.02-02-2006 п. 2.3 и МСП 5.01-102-2002 п. 5.5.13.

Таблица 2

Нормативные и расчетные значения основных физико-механических характеристик песков мелких (ИГЭ-2)

№ п/п	Наименование характеристики	Обозначение	Единица измерения	Неводо-насыщенные	насыщенные водой
1	Плотность грунта природной влажности То же при доверительной вероятности: 0,85 (по деформациям) 0,95 (по несущей способности)	ρ	г/см^3 -//- -//-	1,70 1,70 1,70	1,99 1,99 1,99
2	Плотность сухого грунта То же при доверительной вероятности: 0,85 (по деформациям) 0,95 (по несущей способности)	ρ_d	г/см^3 -//- -//-	1,52 1,52 1,52	1,64 1,64 1,64
3	Плотность частиц грунта	ρ_s	г/см^3	2,68	2,67
4	Природная влажность	W	%	11,5	21,3
5	Пористость	n	%	43,1	38,5
6	Коэффициент пористости	e	д.е.	0,77	0,63
7	Коэффициент водонасыщения	S_r	д.е.	0,40	0,91
	Механические характеристики				
8	Удельное сцепление: а) нормативное б) при доверительной вероятности: 0,85 (по деформациям) 0,95 (по несущей способности)	C_n C_{II} C_I	кПа (кгс/см^2) -//- -//-	3 (0,03) 2,6 (0,026) 2,0(0,02)	1 (0,01) 0,9(0,009) 0,7(0,007)
9	Угол внутреннего трения: а) нормативный б) при доверительной вероятности: 0,85 (по деформациям) 0,95 (по несущей способности)	φ_n φ_{II} φ_I	градус -//- -//-	31 31 28	29 29 26
10	Модуль деформации в интервале нагрузок 0,1-0,2МПа	E	МПа	49	21
11	Расчетное сопротивление	R_0	кПа	300	200

Примечание: а) механические характеристики приведены по результатам испытаний грунта статическим зондированием; б) допускаемое расчетное сопротивление на грунт приведено в соответствии со СНиП 2.02-02-2006 п. 2.3 и МСП 5.01-102-2002 п. 5.5.13.

Таблица 3

Нормативные и расчетные значения основных физико-механических характеристик песков средней крупности (ИГЭ-3)

№ п/п	Наименование характеристики	Обозначение	Единица измерения	Неводо-насыщенные	насыщенные водой
1	2	3	4	5	6
1	Удельное сцепление: а) нормативное	C_n	кПа	0,0	0,0

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6
	б) при доверительной вероятности:		(кгс/см^2)		
	0,85 (по деформациям)	C_{II}	-//-	0,0	0,0
	0,95 (по несущей способности)	C_I	-//-	0,0	0,0
2	Угол внутреннего трения:				
	а) нормативный	φ_n	градус	26	31
	б) при доверительной вероятности:				
	0,85 (по деформациям)	φ_{II}	-//-	26	31
	0,95 (по несущей способности)	φ_I	-//-	24	28
3	Модуль деформации в интервале нагрузок 0,1-0,2МПа	E	МПа	18,9	22
4	Расчетное сопротивление	R_0	кПа	400	400

Примечание: а) механические характеристики приведены по результатам испытаний грунта статическим зондированием; б) допускаемое расчетное сопротивление на грунт приведено в соответствии со СНиП 2.02-02-2006 п. 2.3 и МСП 5.01-102-2002 п. 5.5.13.

Таблица 4

Осредненный гранулометрический состав песчаных грунтов

№	Тип грунта	Зона расположения грунта	40-20	20-10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	<0,005	Содержание, %			
															мелкой гальки	гравийной фракции	песчаной фракции	пылевато-глинистой фракции
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
По головному гидроузлу																		
1	песок пылеватый	зона аэрации						0,10	3,25	25,70	58,35	9,00	1,00	2,60	0,00	0,00	29,00	70,95
2	Песок пылеватый	зона водонасыщения			1,00	2,80	4,00	4,05	15,55	32,35	29,75	4,70	5,10	0,70	0,00	3,80	55,95	40,25
3	песок мелкий	зона аэрации						0,88	31,22	59,54	6,12	0,94	0,46	0,84	0,00	0,00	91,64	8,36

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
4	песок мелкий	зона водо-насыщения			0,05	0,49	1,81	2,25	28,23	54,19	12,26	0,49	0,08	0,14	0,00	0,54	86,48	12,98
5	Песок средней крупности	зона аэрации						1,25	50,50	36,10	10,40	0,90	0,52	0,33	0,00	0,00	87,85	12,15
6	песок средней крупности	зона водо-насыщения		0,15	0,71	2,43	4,68	5,55	49,53	29,89	4,12	1,49	0,90	0,60	0,15	3,13	89,65	7,07

В пределах проектного участка, на разведанную глубину, глинистые грунты выделены и объединены в три ИГЭ. С поверхности участок строительства построенного головного гидроузла
сложен преимущественно супесями, мощностью 0,5-1,3 м (в среднем 0,9 м), и реже суглинками, мощностью до 1,5 м. В природном сложении описываемые грунты твердой консистенции с показателем текучести $I_L<0$. Четвертичные глины и глины неогена вскрываются скважинами только в зоне водонасыщения. Глинистые грунты зоны водонасыщения находятся в тугопластичном, реже в полутвердом состоянии. Частные значения характеристик глинистых грунтов приведены в соответствующих приложениях и карте-паспорте сооружения. Ниже в таблице 5 приведены расчетные значения основных физико-механических характеристик грунтов, в том числе и неогеновых глин, а также группы грунтов по трудности разработки землеройными механизмами.

Таблица 5

Расчетные значения основных физико-механических характеристик грунтов

№ ИГЭ	Наименование грунтов	ρ, т/м³	E, МПа	C, кПа	φ, град	Группа грунтов по трудности разработки (СН РК 8.02-05-2002)	
						Сборник 1 номер пункта	экскаватор одноковшовый
1	2	3	4	5	6	7	8
	Почвенно-растительный слой	подлежит рекультивации, средняя мощность, 0,3м				§9а	1
1	Песок пылеватый	1,65/1,88*	19	0	26	§29в	1
2	Песок мелкий	1,70/1,99*	21	0	26	§29в	1
3	Песок средний	-/2,02*	22	0	31	§29в	1
6	Супеси зоны аэрации	1,75	10,7	31	29	§36б	1

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8
7	Суглинки зоны аэрации	1,79	5,8	22	23	§35в	2
12	Глины зоны водонасы-щения	1,85	20	34	16	§8в	3
14	Глины неогена	1,95	22	40,6	16,5	§8д	4

Примечание: В таблице 5 даны расчетные значения механических характеристик грунтов при расчетах оснований по несущей способности в условиях насыщения их водой. ρ – плотность грунта природной влажности; Е – модуль деформации; С – удельное сцепление; φ – угол внутреннего трения; * – плотность грунта насыщенного водой, в остальных случаях природной влажности.

Суммарное содержание легкорастворимых солей по данным лабораторных анализов от 0,08% до 0,10%. Грунты не засолены и не агрессивны по отношению к бетонным и железобетонным конструкциям [4]. Основанием фундаментов проектируемого гидротехнического сооружения (головного гидроузла) могут служить глины неогенового возраста, являющиеся региональным водоупором, залегающие на глубине 23,2-25,0 м, т.е. в пределах абсолютных отметок 189,50-190,76м. Расчетные геотехнические характеристики неогеновых глин приведены в таблице 5. В случае же заложения фундамента проектируемого головного гидроузла в пределах абсолютных отметок 200-202м, основанием будут служить насыщенные водой пески мелкие. В природном сложении они, по данным статического зондирования, характеризуются как грунты средней плотности. Для расчетов рекомендуется принимать расчетные значения показателей свойств грунтов по несущей способности, т.е. при доверительной вероятности 0,95 (табл.5.). В северо-восточной части площадки по данным бурения 2021 года (скважина С-37-01) с глубины 2,9м залегают пески средней крупности. Отбор проб производился точечным методом, что не отражает общего геолого-литологического строения. В 2024 году на этом участке был проведен опыт статического зондирования (СТЗ-8-08), в результате обработки данных, которого выявлено, что в разрезе преобладают пески мелкие (ИГЭ-2) с прослоями песков средней крупности. Поэтому для расчетов в пределах всего проектируемого сооружения рекомендуется принимать показатели физико-механических свойств песков мелких насыщенных водой. Грунты обратной засыпки. По данным бурения установлено, что глинистые грунты зоны аэрации (супеси и суглинки) имеют невыдержанную как в плане, так и в разрезе мощность. Поэтому грунтами для обратной засыпки рекомендуются песчаные грунты. В связи с тем, что в разрезе преобладают пески мелкие (ИГЭ-2), смеси песчаных грунтов будут классифицироваться как пески мелкие. Для расчетов рекомендуется принимать показатели физико-механических свойств песков мелких (табл. 5). По данным лабораторных анализов максимальная плотность сухого грунта водонасыщенных песков мелких изменяется от 1,64 до 1,68 г/см^3, при среднем значении 1,66г/см^3. Коэффициент уплотнения 1,01. В пределах проектируемой площадки развит водоносный горизонт современных

аллювиальных отложений (aQ_{IV}). Глубина залегания уровней грунтовых вод (УГВ) напрямую зависит от уровня поверхностного стока р. Сырдарьи. На конец мая месяца 2021 года УГВ залегали на глубине 2,3-3,3м. В 2024 году УГВ залегали на глубинах: 3,6-4,2м (июль) и 2,3-2,8м (ноябрь). Максимальным стоянием УГВ можно считать глубину 1,5-2,0м. При этом сезонные колебания УГВ составят порядка 2,1-2,2м. Водовмещающими породами являются пески пылеватые, мелкие и средней крупности со свободной поверхностью, а также линзы и прослойки песков в толще четвертичных глин. По уточненным данным общая мощность зоны водонасыщения на ноябрь 2024 года составляет порядка 20,8-22,7м. Грунтовые воды преимущественно сульфатные натриевые, реже сульфатно-гидрокарбонатные кальциево-натриевые. Грунтовые воды обладают сульфатной агрессией к бетонам всех марок по водонепроницаемости. Вода реки Сырдарьи обладает слабой сульфатной агрессией к бетону марки W_4, а также хлоридной агрессией к железобетонным конструкциям при периодическом их смачивании, но не агрессивна при постоянном их погружении. Ниже в таблице 6 приведены расчетные значения коэффициентов фильтрации грунтов слагающих участок строительства головного гидроузла.

Таблица 6

Расчетные значения коэффициентов фильтрации грунтов

№	ИГЭ	Наименование грунта	Коэффициент фильтрации, K_f, м/сут						
			Зона аэрации			Зона водонасыщения			
			Лаборатория	Налив	Расчетный	Лаборатория	Откачка	Экспресс откачка	Расчетный
1	1	Пески пылеватые	$2,70^{1}$	$5,14^{4+4}$	5,14	-	$4,35^{2}$	$2,15^{7}$	2,15
2	2	Пески мелкие	-	$10,67^{1+2}$	10,67	$2,68^{1}$	$5,02^{2}$ $3,6^{*}$	-	4,55
3	3	Пески средние	-	$15,8^{1+1}$	15,80	-	$8,92^{14}$	-	8,92
4	6	Супеси	-	$0,92^{1}$ $0,8^{*}$	0,86	-	-	-	-
5	7	Суглинки	$0,021^{5}$	$0,28^{5}$	0,28	-	-	-	-
6	12	Глины	-	-	-	-	-	-	$0,01^{*}$
7	14	Глины нео-геновые	-	-	-	-	-	-	$0,001^{*}$

Примечание:

-$7,26^{4}$ – Цифра в верхнем правом углу показывает количество выполненных определений;

-$0,01^{*}$ – Данные фондовых материалов.

Заключение. Проведенные инженерно-геологические исследования позволили комплексно охарактеризовать строение и физико-механические свойства грунтов на площадках построенных гидротехнических сооружений Көксарайского контррегулятора. Установлено, что инженерно-геологические условия территории отличаются высокой неоднородностью и сложностью

литологического строения, наличием водонасыщенных песков, супесей, суглинков и глин неогенового возраста. Выявлены особенности стратиграфии, гидрогеология және геоморфология участков, оказывающие непосредственное влияние на устойчивость оснований и выбор конструктивных решений.

Результаты лабораторных и полевых испытаний показали, что песчаные грунты характеризуются средней плотностью сложения и удовлетворительными фильтрационными свойствами, а глинистые отложения – высокой прочностью и водонепроницаемостью, в качестве надежного водоупора для фундаментов сооружений. Проведённый анализ уровня грунтовых вод подтвердил наличие сезонных колебаний, которые необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации объектов.

С учетом инженерно-геологических особенностей рекомендовано предусмотреть мероприятия по скреплению оснований, дренажу и инженерной защите сооружений от фильтрационных и сейсмических воздействия. Разработанные рекомендации и расчетные параметры могут служить основой для обоснования проектных решений реконструкции, направленных на повышение надежности и долговечности гидротехнических сооружений Коксарайского контррегулятора.

Проведённые исследования подтверждают необходимость постоянноого геотехнического мониторинга в процессе строительства и эксплуатации объектов, и своевременно выявлять изменения в производственно-аварийных ситуациях. Полученные результаты имеют важное практическое значение для дальнейших инженерно-геологических изысканий и проектирования аналогичных гидротехнических сооружений в сложных природных условиях Южного Казахстана.

Список литературы

1. СН РК 3.04-09-2018. Гидротехнические сооружения речные [Текст]: принят приказом № 249-нқ от 5.12.2018.
2. СП 58.13330.2019. Гидротехнич.еские сооружения. Основные положения [Текст]. – Введ. 17-06-2020. – Москва: Стандартинформ, 2020. – 39 с.
3. СН РК 3.04-02-2023. Проектирование бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений [Текст]: принят приказом № 5-НҚ от 6.11.2023.
4. СН РК 3.04-03-2018. Основания ГТС [Текст]: принят приказом № 249-нқ от 5.12.2018.
5. Никитин, В.Н. Основы инженерной сейсмики [Текст] / В.Н.Никитин // – М.: МГУ, 1981. – 176 с.
6. Жданов, М.С. Электроразведка [Текст]/ М.С.Жданов// – М.: Недра, 1986. – 316 с.
7. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях [Текст]: в 2 т. / пер. с франц. – М.: Мир, 1983. – Т. 1. – 312 с.
8. Интерпретация георадиолокационных данных [Текст]. – М.: МГУ, 2008. – 192 с.
9. Reynolds J.M. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. – 2nd ed. – Chichester: Wiley-Blackwell, 2011. – 710 p.
10. Butler D.K. Near-Surface Geophysics. – Society of Exploration Geophysicists, 2005. – 750 p.
11. Амангельдиев, Б.К. Геофизические методы контроля состояния гидротехнических сооружений [Текст] / Б.К.Амангельдиев, Т.С.Жунусов // – Алматы: ҚазҰТУ, 2019. – 128 с.

12. Корнилов, С.И. Инженерно-геофизические изыскания на гидротехнических объектах [Текст] / С.И.Корнилов, А.В.Николаев // - М.: Гидротехника. – 2020. – № 5. – С. 22–27.
13. Мукашева, А.Б. Применение интегральных ГИС-моделей для оценки риска разрушения земляных плотин [Текст] / А.Б.Мукашева, Е.Ж.Бекенов // Вестник КазНИИТИГС. – 2023. – № 2. – С. 35–42.
14. Sambuelli L., Calzoni C., Deidda G.P. Integrated geophysical investigations for dam monitoring // Journal of Applied Geophysics. – 2018. – Vol. 150. – pp. 13–24.
15. Анненков, Н.С. Особенности создания съемочных геодезических сетей одночастотными спутниковыми приёмниками TRIMBLE R3 [Текст] / Н.С. Анненков, М.В. Ванеева // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). 2019. № 1. – С. 55-58.
16. Ванеева, М.В. О применении фотограмметрических методов для проектирования объектов ландшафтной архитектуры [Текст] / М.В. Ванеева, С.А. Макаренко, Р.Е. Романцов // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). 2021. № 1 (12). – С. 96-101.
17. Гладнев, В.В., Ванеева, М.В., Романцов, Р.Е. К вопросу о точности измерений при определении границ объектов ландшафтной архитектуры [Текст] / В.В. Гладнев, М.В. Ванеева, Р.Е. Романцов // Ландшафтная архитектура в современных условиях: материалы науч. конф. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – С. 35-42.
18. Макаренко, С.А. Навигационные системы в геодезии и картографии [Текст] / С.А. Макаренко, Д.К. Жуков, В.В. Доманин // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). 2019. № 1 (8). – С. 127-132.
19. Лесниченко, А.А. Анализ эффективности применения систем ГНСС при производстве кадастровых работ [Текст] / А.А. Лесниченко, А.В. Бондарева, М.В. Ванеева // Молодежный вектор развития аграрной науки: материалы 69-й студенческой науч. конф. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. – С. 415-421.

Материал поступил в редакцию 12.02.25, принят 26.03.26.

М. Оралсынқызы[1], М.Н. Сенников[1], С.Қ. Жолдасов[1], М. Абдиров[1], Н. Шорабаева[2], М.Т. Байжигитова[1], П.М. Абдирова[1]

[1]Қазақ Ұлттық су шаруашылығы және ирригация университеті, Тараз, Қазақстан
[2]Шерхан Мұртаза атындағы Халықаралық Тараз университеті, Тараз, Қазақстан

КӨКСАРАЙ КОНТРРЕТТЕГІШІНІҢ ГИДРОТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРЫЛЫСТАРЫН САЛУДЫҢ ИНЖЕНЕРЛІК-ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙЛАРЫ ТУРАЛЫ

Түйін. Мақала Сырдария өзені аңғарындағы су шаруашылығы маңызы жоғары нысандардың бірі болып табылатын Көксарай қарсы реттегішінің жобаланатын гидротехникалық құрылыстарының құрылыс алаңдарының инженерлік-геологиялық жағдайларын талдауға арналған. Жұмыста ауданның геоморфологиялық ерекшеліктері, стратиграфиясы, литологиялық құрамы, топырақтардың физика-механикалық қасиеттері, сондай-ақ жерасты суларының деңгейі мен режимі қарастырылған. Су тастау құрылыстары, бөгеттер мен каналдарды жобалау және салуға әсер ететін геологиялық және гидрогеологиялық факторларға кешенді бағалау жүргізілген. Инженерлік-геологиялық аудандастыруға және ықтимал тәуекелі бар учаскелерді – шөгуге бейім, ісінгіш және тұзданған топырақтарды – анықтауға ерекше назар аударылған. Зерттеу нәтижелері жобалық шешімдерді инженерлік тұрғыдан дұрыс негіздеуге және құрылыстардың экологиялық әрі техногендік тұрақтылығын арттыруға негіз болып табылады. Сонымен қатар мақалада

болжанатын құрылыс алаңдары шегінде әртүрлі тереңдіктерден алынған топырақ үлгілерінің зертханалық зерттеу нәтижелері ұсынылған. Жерасты сулары деңгейінің маусымдық ауытқуларының ерекшеліктері және олардың құрылыстар негіздерінің тұрақтылығына әсері талданған. Жергілікті геологиялық жағдайлардың ерекшеліктерін ескере отырып, құрылыс алаңдарын инженерлік дайындау және негіздерді нығайту бойынша ұсыныстар берілген.

Кілт сөздер: инженерлік-геологиялық зерттеулер, Көксарай контрреттегіші, гидротехникалық құрылыстар, топырақтардың физика-механикалық қасиеттері, геотехникалық мониторинг, гидрогеологиялық жағдайлар, негіздердің тұрақтылығы.

M. Oralsynkyzy[1], M.N. Sennikov[1], S.K. Joldassov[1], M. Abdirov[1], N. Shorabayeva[2], M.T. Baizhigitova[1], P.M. Abdirova[1]

[1]Kazakh National University of Water Management and Irrigation, Taraz, Kazakhstan
[2]Sherkhan Murtaza International Taraz University, Taraz, Kazakhstan

ON THE ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS OF CONSTRUCTION OF HYDRAULIC STRUCTURES OF THE KOKSARAI COUNTER-REGULATOR

Abstract. The article is devoted to the analysis of the engineering and geological conditions of construction sites for the designed hydraulic structures of the Koksarai counter-regulator, one of the key water management facilities in the Syr Darya River valley. The paper considers the geomorphological features of the area, stratigraphy, lithological composition, physical and mechanical properties of soils, as well as the level and regime of groundwater. A comprehensive assessment of geological and hydrogeological factors influencing the design and construction of spillways, dams, and canals is carried out. Particular attention is paid to engineering-geological zoning and the identification of areas with potential risks, including collapsible, swelling, and saline soils. The results of the study form the basis for sound engineering justification of design solutions and for improving the environmental and technological stability of the structures. In addition, the article presents the results of laboratory studies of soil samples taken from various depths within the proposed construction sites. The features of seasonal fluctuations in groundwater levels and their impact on the stability of structure foundations are analyzed. Recommendations are provided for site engineering preparation and foundation reinforcement, taking into account the specific local geological conditions.

Keywords: engineering-geological surveys, Koksarai counter-regulator, hydraulic structures, physical and mechanical properties of soils, geotechnical monitoring, hydrogeological conditions, foundation stability.

References

1. SN RK 3.04-09-2018. Gidrotekhnicheskie sooruzheniya rechnye [River hydraulic structures]: approved by Order No. 249-nq dated December 5, 2018 [in Russian].
2. SP 58.13330.2019. Gidrotekhnicheskie sooruzheniya. Osnovnye polozheniya [Hydraulic structures. General provisions]. – Introduced on June 17, 2020. – Moscow: Standartinform, 2020. – 39 p. [in Russian].
3. SN RK 3.04-02-2023. Proektirovanie betonnykh i zhelezobetonnykh konstruktsiy gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Design of concrete and reinforced concrete structures of hydraulic engineering facilities]: approved by Order No. 5-NQ dated November 6, 2023 [in Russian].
4. SN RK 3.04-03-2018. Osnovaniya GTS [Foundations of hydraulic structures]: approved by Order No. 249-nq dated December 5, 2018 [in Russian].

5. Nikitin V.N. Osnovy inzhenernoy seysmiki [Fundamentals of engineering seismology]. – Moscow: MGU, 1981. – 176 p. [in Russian].
6. Zhdanov M.S. Elektrorazvedka [Electrical prospecting]. – Moscow: Nedra, 1986. – 316 p. [in Russian].
7. Metody i tekhnika obrabotki signalov pri fizicheskikh izmereniyakh: v 2 t. [Methods and techniques of signal processing in physical measurements: in 2 vols.]. – Moscow: Mir, 1983. – Vol. 1. – 312 p. [in Russian].
8. Interpretatsiya georadiolokatsionnykh dannykh [Interpretation of ground-penetrating radar data]. – Moscow: MGU, 2008. – 192 p. [in Russian].
9. Reynolds J.M. An Introduction to APlied and Environmental Geophysics. – 2nd ed. – Chichester: Wiley-Blackwell, 2011. – 710 p.
10. Butler D.K. Near-Surface Geophysics. – Society of Exploration Geophysicists, 2005. – 750 p.
11. Amangel'diev B.K. Geofizicheskie metody kontrolya sostoyaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Geophysical methods for monitoring the condition of hydraulic structures]. – Almaty: KazUTU, 2019. – 128 p. [in Russian].
12. Kornilov S.I. Inzhenerno-geofizicheskie izyskaniya na gidrotekhnicheskikh ob"ektakh [Engineering and geophysical surveys at hydraulic engineering facilities]. – Moscow: Gidrotekhnika, 2020. – No. 5. – P. 22–27. [in Russian].
13. Mukasheva A.B. Primenenie integral'nykh GIS-modeley dlya otsenki riska razrusheniya zemlyanykh plotin [APlication of integrated GIS models for assessing the risk of earth dam failure]. – Vestnik KazNIITIGS, 2023. – No. 2. – P. 35–42. [in Russian].
14. Sambuelli L., Calzoni C., Deidda G.P. Integrated geophysical investigations for dam monitoring // Journal of APlied Geophysics. – 2018. – Vol. 150. – P. 13–24.
15. Annenkov N.S. Osobennosti sozdaniya s"emochnykh geodezicheskikh setey odnochastotnymi sputnikovymi priemnikami TRIMBLE R3 [Features of creating geodetic survey networks using single-frequency satellite receivers TRIMBLE R3]. – Modeli i tekhnologii prirodoobustroystva, 2019. – No. 1. – P. 55–58. [in Russian].
16. Vaneeva M.V. O primenenii fotogrammetricheskikh metodov dlya proektirovaniya ob"ektov landshaftnoy arkhitektury [On the aPlication of photogrammetric methods for landscape architecture design]. – Modeli i tekhnologii prirodoobustroystva, 2021. – No. 1 (12). – P. 96–101. [in Russian].
17. Gladnev V.V. K voprosu o tochnosti izmereniy pri opredelenii granits ob"ektov landshaftnoy arkhitektury [On the issue of measurement accuracy in determining the boundaries of landscape architecture objects]. – Landshaftnaya arkhitektura v sovremennykh usloviyakh: Proceedings. Voronezh, 2020. – P. 35–42. [in Russian].
18. Makarenko S.A. Navigatsionnye sistemy v geodezii i kartografii [Navigation systems in geodesy and cartography]. – Modeli i tekhnologii prirodoobustroystva, 2019. – No. 1 (8). – P. 127–132. [in Russian].
19. Lesnichenko A.A. Analiz effektivnosti primeneniya sistem GNSS pri proizvodstve kadastrovykh rabot [Analysis of the efficiency of GNSS systems in cadastral works]. – Molodezhnyy vektor razvitiya agrarnoy nauki: Proceedings. Voronezh, 2018. – P. 415–421. [in Russian].

ҒТАМР 61.53.15 : 87.21.23

Э.Н. Абдулова[1] – *негізгі автор*,
Ұ.Ғ. Қанатбек[2], Е.Қ. Реймбаев[3], А.А. Куртебаева[4], А.М. Серикбаева[5], С.А. Орынбаев[6], Т.Г. Хелдер[7], М.С. Калмаханова[8]

©

[1,5]Магистр, аға оқытушы, [2]Магистрант, [3,4]Докторант, [6,7,8]PhD, қауымдас. профессор

ORCID *[1]https://orcid.org/0009-0009-0660-7616 [2]https://orcid.org/0009-0005-4568-9993 [3]https://orcid.org/0009-0006-7669-3247 [4]https://orcid.org/0000-0002-1975-0755 [5]https://orcid.org/0000-0002-8204-7851 [6]https://orcid.org/0000-0002-5077-7219 [7]https://orcid.org/0000-0001-6898-2408 [8]https://orcid.org/0000-0002-8635-463X*

[1,5]М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан Зерттеу Университеті, Шымент, Қазақстан
[2,3,4,6,8]М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан
[7]Браганса политехникалық институты, Браганса, Португалия

@ *[8]marjanseitovna@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/TDCX3105

АҒЫНДЫ СУЛАРДЫ ТАЗАРТУ АЙМАҒЫНДАҒЫ АУЫР МЕТАЛДАРМЕН ЛАСТАНҒАН ТОПЫРАҚТЫ ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУ БОЙЫНША ШЕШІМДЕРДІ ӘЗІРЛЕУ

Аңдатпа. Топырақтың ауыр металдармен ластануы қазіргі қоғам алдында тұрған ең өзекті экологиялық мәселелердің бірі болып табылады. Сол себепті бұл зерттеудің мақсаты ауыр металдармен (Ni және Pb) латанған топырақты биокөмір көмегімен тазалау және биокөмірдің топыраққа әсерін бағалау болып табылады. Биокөмір ретінде ауыл шаруашылығы қалдықтары (қант қызылшасы,тауық көңі) алынды. Биокөмір 450°С температура 1 сағатта пиролиз процессі арқылы алынды. Алынған биокөмірдің физика-химиялық қасиеттері (ИК-спектр, СЭМ) зерттелінді. Топырақтың ауыр металдармен ластануын модельдеу процесі жүргізілді. Ол үшін 200 мг/л концентрацияда $Pb(NO_3)_2$ ерітінді дайындалды. Ерітінді 500 гр топыраққа құйылып, қант қызылшасынан жасалған биокөмір 1%, 5% ,10% араластырылды. 30 күн инкубациялық период нәтижесінде элементтік анализ арқылы ауыр металдың концентрациясының өзгерісі байқалды. Биокөмірдің топыраққа әсері жүгері отырғызу арқылы бақыланды.

Тірек сөздер: биокөмір, пиролиз, топырақ, атомдық-эмиссионды спектроскопия, ик-спектр, ауыр металл, элементтік анализ, сканерлейтін электронды микроскопия (СЭМ).

Абдулова, Э.Н. Ағынды суларды тазарту аймағындағы ауыр металдармен ластанған топырақты қалпына келтіру бойынша шешімдерді әзірлеу [Мәтін] / Э.Н. Абдулова, Ұ.Ғ. Қанатбек, Е.Қ. Реймбаев, А.А. Куртебаева, А.М. Серикбаева, С.А. Орынбаев, Т.Г. Хелдер, М.С. Калмаханова // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.368-382. https://doi.org/10.55956/TDCX3105

Кіріспе. Қорғасын, сынап, кадмий және никель сияқты ауыр металдар топыраққа әртүрлі антропогендік әрекеттерден, соның ішінде өнеркәсіптік

шығарындылардан, пестицидтер мен тыңайтқыштарды қолданудан және рұқсат етілмеген қалдықтарды шығарудан түседі. Бұл элементтер жоғары уыттылыққа ие және экожүйелерде жинақталуы мүмкін, бұл адам денсаулығы мен қоршаған ортаға ауыр зардаптарға әкеледі [1].

Ауыр металдармен ластанған топырақты тазартудың заманауи технологиялары әр түрлі әдістерді қамтиды, олардың әрқайсысының өзіндік ерекшеліктері мен артықшылықтары бар. Бұл технологиялар топырақтағы улы заттардың концентрациясын төмендетуге бағытталған, бұл қоршаған ортаны қорғау мен адам денсаулығы үшін маңызды міндет болып саналады [2].

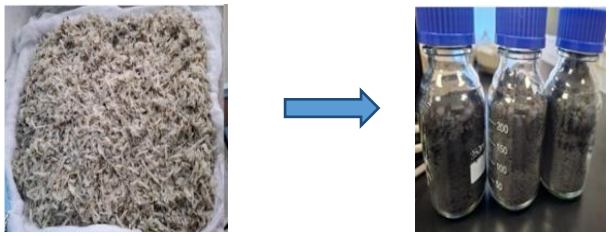
Биокөмір немесе биочар – оттегінің шектеулі қол жетімділігі жағдайында пиролиз процесі арқылы органикалық қалдықтардан алынған кеуекті көміртекті материал. Соңғы жылдары биокөмір ластанған топырақты, әсіресе ауыр металдарды тазартудың танымал әдісіне айналды. Оның бірегей физика-химиялық қасиеттері оны топырақтағы улы заттардың биожетімділігін байланыстыруға және азайтуға қабілетті тиімді адсорбент етеді [3]. Биокөмірді пайдаланудың маңызды аспектісі оның топырақтағы микробтық белсенділікті сақтау және арттыру қабілеті болып табылады.

Биокөмір ретінде ауылшаруашылық қалдықтары (қант қызылшасы және тауық көңі) алынды. Тауық көңінен алынған биокөмір фосфорға, калийге және азотқа бай, бұл оны ауыл шаруашылығында бағалы тыңайтқыш етеді және қалдықсыз өнім болып табылады.Соңғы жаңалықтарға сүйене отырып [4], қант қызылшасының қалдық ретінде көп көлемде болуына байланысты қант қызылшасынан биокөмір жасау мақсат етілді.

Зерттеу шарттары мен әдістері. *Қажетті құрал-жабдықтар:* муфель пеші, тигельдер табақшасы, аналитикалық таразылар, ыстыққа төзімді қысқыштар, ыстыққа төзімді қолғаптар, ұсақтағыш және форфор ступкасы, пластмассадан жасалған контейнерлер (әр металға 3 дана), шпатель, зертханалық таразы,қорғасын нитраты: $Pb(NO_3)_2$, өлшеуіш ыдыс-стакандар, колбалар, бюреткалар, тамшуырлар, жүгері тұқымдары, сызғыш, АЭС (Атом-эмиссиялық спектрометр), сүзгілер мен құтылар, тазартылған су, сорғыш шкаф [5].

Биокөмір өндіру. Ауылшаруашылық қалдықтарынан өндірілген биокөмірдің ластанған топырақтан ауыр металдарды (Pb және Ni) кетіруге әсерін зерттеу жұмыстары жүргізілді.Ауылшаруашылық қалдықтарын құрғатып, ұсақтап және електен өткізілді (қант қызылщасы және тауық көңі).

Еленген ауылшаруашылық қалдықтарын тазартылғын сумен жуып, вакуумды пеште түні бойы 85°C температурада кептірілді. Қант қызылшасының қалдықтары және тауық көңі муфель пешінде пиролиз әдісімен биокөмір өндірілді. Пиролиз процессі биомассаны 450°C температурада 1 сағатта жүргізілді (1, 2-суреттер) [6].



Сурет 1. Қант қызылшасынан биокөмір өндіру процесі

Сурет 2 .Тауық көңінен биокөмір өндіру процесі

Тауық қиынан 5 г бастапқы массаға 1,4793 г биокөмір алынды, бұл 29% өнімділікті білдіреді. Ал қант қызылшасынан 10 г бастапқы массаға 1,2728 г биокөмір алынған, бұл 13% өнімділікті көрсетеді.

Топырақ сынамасын алу. Зерттеу жұмысы үшін топырақ сынамалары ағынды суларды тазарту аймағынан (Aca), ауыр металдармен ластануы ықтимал негізгі участкелерден алынды. Сынамалар 0-30 см тереңдіктен, аралықпен бірнеше нүктеден алынып, біртекті үлгі алу үшін араластырылды. Топырақ сынамалары полиэтилен пакеттерге салынып, зертханаға жеткізілгенге дейін салқын жерде сақталды. Кейін зертханада топырақ кептіріліп, електен өткізіліп, ауыр металдардың мөлшерін анықтауға және биочармен өңдеуге дайындалды.

Сурет 3.Топырақты тазартып, кептіру процесі

Жиналған топырақ үлгілері ауамен құрғатылды, қоқыс пен тастарды кетіру үшін 2 мм електен өткізілді (3-сурет).

Топырақтың ластануын модельдеу. Зерттеу аясында ауыр металмен ластанған топырақтың қалпына келу мүмкіндігін зерттеу үшін алдымен модельдік ластану жағдайы жасалды. Бұл мақсатта қорғасын (Pb) иондары пайдаланылып, зертханалық жағдайда топырақтың қорғасынмен ластануын модельдеу тәжірибесі жүргізілді.

Қорғасын иондарының мөлшері атомдық-эмиссиялық спектрометрия (АЭС) әдісімен анықталды. Бұл әдіс топырақ құрамындағы металл иондарының концентрациясын жоғары дәлдікпен және сенімділікпен өлшеуге мүмкіндік береді. Талдау нәтижелері мг/кг бірлігінде көрсетілді.

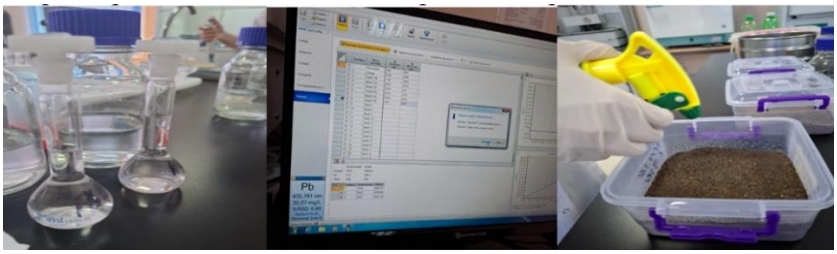
Барлық сынамалар үш қайталауда жүргізілді, нәтижелердің орташа мәндері мен стандартты ауытқулары есептелді. Бұл зерттеу нәтижелерінің сенімділігі мен статистикалық дәлдігін қамтамасыз етті. Сонымен қатар, бақылау тобы ретінде биокөмір енгізілмеген ластанған топырақ үлгісі пайдаланылды. Аталған әдіс ауыр металдардың (қорғасын) биожетімділік деңгейінің өзгеруін бақылауға, сондай-ақ биокөмірдің ауыр металдарды сорбциялаудағы тиімділігін бағалауға мүмкіндік берді.

Ауыр металдардың концентрациясын анықтау нәтижелері биокөмірдің топырақтағы қорғасын иондарын тиімді түрде азайта алатынын көрсетті. Бұл әдіс топырақтың экологиялық жағдайын жақсартуға және ауыр металдармен ластанған аумақтарды қалпына келтіруге арналған перспективалы шешімдердің бірі ретінде қарастырылады.

Тәжірибе үшін біртекті құрғақ топырақ үлгілері 500 грамм мөлшерінде үш пластик контейнерге (контрольді түрде) өлшеніп салынды. Бұл үлгілер алдын ала електен өткізілген және органикалық қалдықтардан тазартылған болатын. Топырақтың физикалық-химиялық қасиеттері ұқсас болуы модельдің біркелкілігін қамтамасыз етті.

Ластану процесін жүзеге асыру үшін қорғасын нитраты $Pb(NO_3)_2$ ерітіндісі дайындалды. Дәл өлшенген 0,0567 грамм қорғасын нитраты және 125 мл дистилденген суда толық ерітіліп, біртекті ерітінді алынды.

Бұл ерітіндінің құрамындағы қорғасын иондарының концентрациясы атомдық-эмиссиялық спектрометрия (АЭС) көмегімен анықталды.Өлшеу нәтижесінде қорғасын иондарының концентрациясы 200 мг/л шамасында болғаны расталды (4-сурет). Бұл көрсеткіш нақты өндірістік немесе коммуналдық ағынды суларда кездесетін ауыр металдар мөлшеріне жақын, сондықтан тәжірибе нақты жағдайларға барынша сәйкес келетіндей ұйымдастырылды.



Сурет 4. Топырақты қорғасын нитраты ерітіндісімен ластау процесі

Алынған ерітінді бірдей көлемде әр контейнерге төгіліп,топырақпен мұқият араластырылды. Араластыру барысында қорғасын иондарының топырақ массасына біркелкі таралуы қамтамасыз етілді. Ластанған топырақ үлгілері 48 сағат бойы бөлме температурасында (шамамен 22-25°C) тұрақтануға қалдырылды. Бұл уақыт аралығында қорғасын иондары топырақ бөлшектерімен физика-химиялық өзара әрекетке түсіп, олардың сорбциялануы және потенциалды биожетімділігі қалыптасуына мүмкіндік берілді.

Осылайша, жасанды түрде қорғасынмен ластанған топырақ үлгілері алынып,олар ары қарай биочардың әсерін зерттеу үшін қолданылды. Бұл әдіс ластанудың нақты деңгейін бақылауға мүмкіндік беріп,биочардың ауыр металдардың қозғалғыштығы мен биожетімділігіне әсерін тиімді түрде бағалауға жағдай жасады.

Топырақтан ауыр металдарды биокөмірмен кетіру. Топырақтағы ауыр металдарды, нақтырақ айтқанда қорғасын иондарын жою мақсатында биокөмір қолдану тәжірибесі жүргізілді. Бұл зерттеудің негізгі мақсаты – әртүрлі мөлшерде енгізілген биокөмірдің ауыр металдардың концентрациясын төмендетудегі тиімділігін бағалау [7].

Тәжірибе барысында алдын ала қорғасын нитраты ерітіндісімен ластанған топырақ үлгілері пайдаланылды. Әрқайсысы 500 грамм болатын

үш контейнерге сәйкесінше 1%, 5% және 10% мөлшерінде биокөмір қосылды. Яғни, әр контейнерге тиісінше 5 г, 25 г және 50 г биокөмір салынды. Биокөмір топырақпен мұқият араластырылып, біртекті қоспа алынды (5-сурет).

Сурет 5. Қорғасынмен ластанған топыраққа биокөмірді әртүрлі мөлшерде (5 г, 25 г, 50 г) қосып, біркелкі араластыру арқылы эксперименттік үлгілер дайындау сәті

Биокөмірдің ауыр металдарды сорбциялау және топырақпен әрекеттесу үдерісі белгілі бір уақытты қажет ететіндіктен, барлық үлгілер инкубациялық кезеңге қойылды. Инкубация бөлме температурасында, ылғалдылық сақталған жағдайда, жабық контейнерлерде жүргізілді. Бұл кезеңде қорғасынмен никельдің топырақтан биокөмірге адсорбциялану үдерісі жүрді.

2 апта уақыт аралығында әр контейнерден топырақ үлгілері алынып,оның құрамындағы ауыр металдардың концентрациясы анықталды. Ол үшін бізде элементті анализ әдісі қолданылды. Бұл әдіс қорғасын иондарының мөлшерін жоғары дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді.

Тәжірибе нәтижелері әртүрлі мөлшерде енгізілген биокөмірдің қорғасынның биожетімділігін төмендету дәрежесін салыстыруға мүмкіндік берді. Сонымен қатар, уақыт өте келе ауыр металдардың топырақтағы концентрациясының өзгеру динамикасын анықтап, биокөмірдің ұзақ мерзімді әсері бағаланды. Инкубациялық эксперименттің соңында топырақ үлгілерін жинап, кептіріп, кейінгі химиялық талдаулар үшін електен өткізілді.

Жүгері өсіру тәжірибесі арқылы биокөмірдің әсерін бағалау. Жүгерінің өсуі мен дамуының әртүрлі органикалық қоспалардың әсерлері бағаланды. Эксперимент үш нұсқаны қамтыды: биочармен, биочарсыз және биогумуспен. Бұл тәсіл органикалық тыңайтқыштардың өсімдіктің табиғи өсу жағдайларына қатысты тиімділігін обьективті түрде салыстыруға мүмкіндік береді [8]. Тауық көңінен және қант қызылшасының қалдықтарынан жасалған биочар арқылы массасы 500 гр топыраққа 10% мөлшерінде енгізілді (7, 8, 9-суреттер).

Сурет 7. Қант қызылшасынан жасалған биокөмірмен өсірілген жүгері

Сурет 8. Тауық көңінен жасалған биокөмірмен өсірілген жүгері

Сурет 9. Биокөмірсіз өсірілген жүгері

Дайындалған субстраттардың әрқайсысына жүгері тұқымдары отырғызылды. Өсімдіктер бақыланатын жағдайларда (температура, ылғалдылық, жарық) 2-3 апта бойы өсірілді. Өсімдіктердің өсуі алғашқы бес күнде күн сайын, содан кейін эксперимент аяқталғанға дейінгі аралықта тіркелді.

Вегетациялық кезеңнің бастапқы кезеңдерінде жүгері келесі өсу динамикасын 1-кестеде көрсетілген.

Кесте 1

Жүгерінің өсу көрсеткіштері

Күндік бақылау	Биочармен, см	Биочарсыз, см	Биогумус, см
1 күн	0,5	0,5	0,7
2 күн	1,0	1	1,5
3 күн	2,3	1,5	3
4 күн	4,0	3	4
5 күн	8,5	6	6
7(1 апта) күн	12	10	12
2-3 апта	17	15	17

Екінші немесе үшінші аптаның соңында өсімдіктердің биіктігі орта есеппен 15 см-ге жетті және ең қарқынды өсу үшінші күннен бесінші күнге дейін байқалды. Алдын ала нәтижелер органикалық тыңайтқыштардың, әсіресе биочардың жүгерінің ерте өсу кезеңдеріне оң әсерін көрсетеді. Нұсқалар арасындағы айырмашылықтарды егжей-тегжейлі сандық талдау зерттеудің келесі кезеңінде жүзеге асырылады.

Биочар топырақтың физикалық қасиеттерін жақсартуға көмектеседі, оның ішінде – суды сақтау қабілетін, аэрацияны, буферлік сыйымдылықты және органикалық көміртекті арттырады. Онда бастапқы шикізатта кездесетін минералды элементтер, әсіресе азот, фосфор және калий сақталады. Тауық көңі биочарға жоғары тағамдық құндылық береді, ал қант қызылшасының қалдықтары топырақ микрофлорасының белсендірілуіне ықпал ететін сіңімді көміртектің көзі болып табылады. Биочар сонымен қатар

топырақтың қышқылдылығын төмендетіп, ауыр металдар мен улы қосылыстарды сорып, өсімдіктердің тамыр жүйесі үшін қолайлы орта жасай алады. Екінші нұсқада топырақ биогумус (органикалық қалдықтарды өңдейтін қалдықтар) тыңайтқышымен араластырылды (10-сурет).

Сурет 10. Биогумус арқылы өсірілген жүгері

Биогумус құрамында көптеген макро және мироэлементтер, сонымен қатар биологиялық белсенді заттар, соның ішінде гумин қышқылдары, амин қышқылдары және т.б заттар бар. Бұл қосылыстар өсімдікті қоректендіріп қана қоймай, сонымен қатар тамыр жүйесінің белсенділігін арттыру арқылы өсуді ынталандырады. Сонымен қатар, биогумус топырақтың агрофизикалық сипаттамаларын жақсартады, оның құрылымын, ылғалдың сақталуын және ауа алмасуын арттырады. Бұл пайдалы микробиотаның өсуіне ықпал етеді және өсімдіктердің иммунитетін нығайтады, олардың ауруларға бейімділігін төмендетеді.

Бақылау тобы органикалық немесе минералды тыңайтқыштар қолданылмаған жағдайда жүгерінің өсуінің негізгі параметрлерін анықтауға мүмкіндік берді. Бұл опция биочар мен биогумустың нақты әсерін нақты анықтаудың кілті болып табылады, өйткені ол сыртқы факторлардың әсерін болдырмайды. Бақылау топырағындағы өсімдіктердің өсуі қолданылатын қоспалардың тиімділігін бағалау үшін салыстырмалы нұсқаулық болып табылады.

Мұндай салыстырмалы талдауды жүргізу әртүрлі органикалық тыңайтқыштардың әсер ету механизмдерін тереңірек түсінуге мүмкіндік береді. Биочар топырақ құрылымын тұрақтандыру және қоректік заттарды сақтау арқылы тұрақты егіншілікке ықпал ететін ұзақ мерзімді топырақ амендменті ретінде қарастырылады. Биогумус керісінше, жоғары биологиялық белсенділік арқылы жылдам әсер етті. Бақылау нұсқасының болуы алынған деректерді обьективті түсіндіруге мүмкіндік береді және органикалық қоспалардың жүгерінің өсуіне оң әсері туралы гипотезаны растайды.

Тауық көңінен алынған және қант қызылшасының биочарымен салыстырғанда вегетациялық кезеңнің соңғы кезеңдерінде белсенді өсуге ықпал етті. Бұл бастапқы шикізаттағы азот пен микроэлементтердің жоғары болуына байланысты болуы мүмкін. Биогумус алғашқы күндерде ең жылдам бастауды қамтамасыз еткенімен, 2-3 аптада биочар нұсқаларында өсімдіктердің өсуі теңестірілді, бұл оның ұзақ және тұрақты әсерін көрсетеді [9].

Жүргізілген эксперимент органикалық тыңайтқыштардың, атап айтқанда, әртүрлі шығу тегі бар биогумус пен биочардың жүгерінің ерте

дамуына оң әсер ететінін көрсетті. Биогумус қолда бар қоректік заттардың жоғары болуына байланысты тез өсуге ықпал етеді, ал биочар топырақтың физикалық қасиеттерін жақсартады және болашақта тұрақты өсуге ықпал етеді. Тыңайтқыштардың әсері тамыр жүйесінің морфологиясына да әсер етті, бұл олардың өсімдіктің тамыр бөлігінде ғана емес, сонымен қатар жер асты биомассасының дамуында да тиімділігін арттырады.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. *ИК спектірінің талдаулары.* Қант қызылшасының қалдығынан жасалған биокөмірдің спектіріне жалпы талдау жасалынды (2-кесте).

Кесте 2

Қант қызылшасынан жасалған биокөмірдің спектрлік деректері

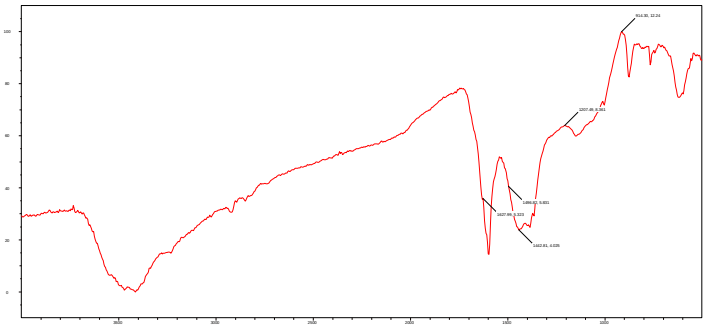
№	Басы	Соңы
1	875.72	1060.9
2	1473.7	1535.4
3	1535.4	1597.1
4	1631.8	2106.4

2-кесте деректері бойынша, 875.72-1060.9 см$^{-1}$ (C-O,C-O-C созылу тербелісі). Бұл жолақтар целлюлоза мен гемицеллюлозаның ыдырауы нәтижесінде сақталған спирттік және эфирлік байланыстарды (C-O,C-O-C) көрсетеді. Пиролиз температурасы жоғары болса,бұл жолақтар әлсірейді немесе жойылады,бірақ 450°C-тағы процесінде бірақ сақталып қалған.

1535.4 см$^{-1}$ (C=C ароматикалық сақина тербелісі). Бұл пиктер лигиннің ыдырауынан қалған ароматикалық құрылымдарды білдіреді. Ароматикалық көміртекті сақиналар биочардың графиттену дәрежесін көрсетеді.

1597.1 см$^{-1}$ (N-H немесе C=O тербелісі). Егер шикізатта азотты қосылыстар аз болса, онда бұл пик карбонилді топтарға (C=O) жатады. Егер қызылша қалдығында ақуыз немесе азотты қосылыстар (мысалы, амидтер) қалған болса,бұл N-H байланысының бар екенін білдіруі мүмкін.

1631.8-2106.4 (C=O, C≡C, C≡N топтары). 1631.8 см$^{-1}$ – Карбонил (C=O) топтары болуы мүмкін,бұл қалдық карбон қышқылдары мен кетондар екендігін көрсетеді. 2106.4 см$^{-1}$ – Егер әлсіз болса,бұл ацетиленді (C≡C) немесе циано (C≡N) топтарының болуын білдіреді.



Сурет 11. Қант қызылшасынан жасалған биокөмірдің ИК-спектрлері

Тауық көңінен биокөмірінен жасалған биокөмірдің спектрін жалпы талдау жасалынды.

Кесте 3

Тауық саңырығынан жасалған биокөмірдің спектрлік деректері.

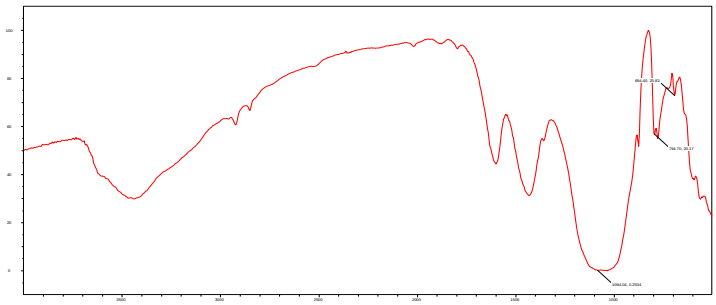
№	Басы	Соңы
1	613.39	694.4
2	694.4	725.26
3	725.26	775.42
4	794.7	875.72
5	875.72	960.59
6	1165.1	1357.9
7	1357.9	1412
8	1473.7	1547
9	1547	1589.4
10	1797.7	2017.6

3-кестеде көрсетілген деректер бойынша 1165.1-1357.9 см$^{-1}$ – органикалық молекулалардың тербелістері: Бұл интервалды органикалық қосылыстардың, әсіресе С-О және С-С байланыстарының тербелістері байқалды. Бұл биочарды органикалық компоненттердің болуы мен термиялық ыдырауы туралы ақпарат береді.

1357.9-1412 см$^{-1}$-ароматикалық құрылымдар: Бұл интервалды С-Н иілу тербелістері байқалады, бұл биочардағы ароматикалық құрылымдардың пайда болуының белгісі болып табылады.

1547-1589.4 см$^{-1}$ – Ароматикалық құрылымдар мен графиттік құрылымдар: Бұл интервалдағы пик биочардың құрамындағы графиттік немесе ароматикалық құрылымдардың пайда болуын көрсетеді. Бұл биочардың тұрақтылығын және сапасын арттыратын маңызды белгі.

1797.7-2017.6 см$^{-1}$ – С=О байланысының сіңірілуі: Бұл интервалда С=О (көміртек-оттек) байланыстарының жұтылуы байқалады, ол биочардағы оттекті топтардың және олардың реакциялық қабілетін көрсетеді.



Сурет 12. Тауық көңінен жасалған биокөмірдің ИК-спектрлері

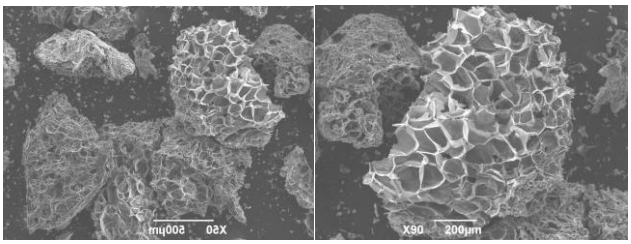
СЭМ биокөмір анализі. СЭМ сканерлейтін электронды микроскопия. СЭМ талдауы – бұл үлгінің беткі рельефінің күрделі, жоғары үлкейтілген кескіндерін шығару үшін бағытталған электронды сәулені қолданатын қуатты зерттеу құралы.Қызығушылық аймағы үлгіде анықталып,СЭМ көмегімен бағаланғаннан кейін, біздің мамандар энергия диффузоры рентгендік спектроскопиясын немесе EDX талдауын қолдана отырып, материалдың егжей-тегжейіне тереңірек ене алады.

Сканерлеуші электронды микроскоптың көмегімен бетті визуалды талдауды жүргізу ластаушы заттарды немесе белгісіз

бөлшектерді,ақаулықтың себебін жіне материалдар арасындағы өзара әрекеттесуді анықтауға көмектеседі.

Бетті бағалаудан басқа, СЭМ талдауы механикалық тозу сынағы кезінде алынған тозу қалдықтары сияқты бөлшектерді сипаттау үшін қолданылады.

Қант қызылшасының қалдығынан жасалған биокөмір үлгісінің беткі құрылымын өте жоғары үлкейту мен өте жоғары дәлдікпен зерттеу СЭМ (сканерлеуші электронды микроскопия) анализі жасалды. Бұл әдіс материалдың морфологиясын, құрылымдық ерекшеліктерін және химиялық құрамын анықтауға мүмкіндік берді.



Сурет 13. Қант қызылшасынан алынған биочардың СЭМ талдауы

Қант қызылшасынан алынған биочардың СЭМ талдауы (сканерлеуші электронды микроскопия). Суретте биочардың морфологиясын, құрылымын және құрамын қарастурыға мүмкіндік беретін әртүрлі үлкейтулердегі үлгі бетінің суреттері көрсетілген. Оларға талдау жасап өтсек:

X1,000 (5мкм): Кеуекті түзілімдер көрінеді, бұл жоғары микро кеуектілікті көрсетеді. Бұл құрылым адсорбция үшін маңызды болып табылатын жоғары меншікті бетке ықпал етеді.

X3,000 (5мкм): Кеуекті бетке егжей-тегжейлі шолу. Өлшемдерді 1 мкм-ге дейін бірнеше микропоралар бар.

X90 (200 мкм): Жалпы макроқұрылымды көрсетеді. Қант қызылшасының жасушалық құрылымының тұқым қуалайтын үлкен жасушалар көрінеді.

X10,000 (1мкм): Үлкейту наноқұрылымдық бөлшектерді көрсетеді. Кеуектердің шеттері мен беті тегіс емес көміртекті құрылымдардың болуы айқын көрінеді.

X50 (500 мкм): Макроскопиялық көрініс: кеуекті арналар мен жасушалық құрылым көрсетіледі. Өсімдіктің тамырлы тініне ұқсайды.

X100 (100 мкм): Алдыңғысынан нақтылау: кеуектер мен олардың геометриясы айқынырақ байқалады.

X100 (100 мкм): Құрылымның гетерогенділігі көрінеді.

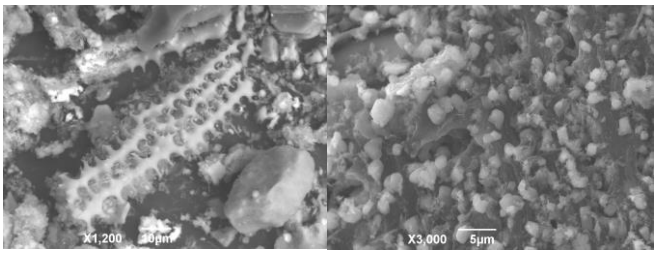
X200 (100 мкм): Кеуекті құрылымның жүйелігін растайды. Тері тесігі сопақша немесе тұрақты емес пішінді, бұл өсімдік тектес биочарларға тән. Биочардың жақсы сүзу қасиеттері бар деп болжауға болады.

X300 (50 мкм): Үлкейту тері тесігінің тығыздығын және олардың таралуын көрсетеді. Жоғары кеуекаралық аймақтың белгісі.

X500 (50 мкм): Бұл сериядағы ең жоғары үлкейту (X10,000-нан кейін), қабатты құрылым айқын көрінеді. Мүмкін көміртекті наноқұрылымдар (ламелалар, жасуша қабырғаларының фрагменттері).

Қант қызылшасының биочары барлық деңгейлерде айқын кеуектілікті көрсетеді (макро, микро және наноөлшемдер). Бұл құрылым оны қолдануға

жарамды етеді:суды/топырақты тазарту (ауыр металдардың, токсиндердің адсорбциясы); ауыл шаруашылығы (топырақтың қасиеттерін жақсарту); катализаторлардың тасымалдаушысы ретінде және т.б. жағдайларда қолдануға жарамды.



Сурет 14. Тауық көңінен жасалған биокөмірдің СЭМ талдауы

Тауық көңінен жасалған биочар (биокөмір) сканерлеуші электронды микроскоп (СЭМ) көмегімен алынған Х1000 үлкейтілген және 10 мкм масштабты үлгісі. Суретте гетерогенді құрылымды ажыратуға болады: кеуекті фрагменттер, сондай-ақ ұсақ және үлкен бөлшектер бар. Бұл органикалық қалдықтардан алынған биочарға тән.

Келесі суретте Х1200 (масштабы 10 мкм) үлкейту қызықты формауияны көрсетеді – тұрақты саңылаулары бар құрылымдық элемент. Бұл биологиялық құрылымның қалдығы болуы мүмкін, мысалы, жасуша қабырғасының фрагменті немесе диатомының микроскопиялық қабығы немесе пиролизден аман қалған басқа микроорганизм.

Х2000 үлкейту кезінде сурет көрсетілген. Бұл үлкейту деңгейі беттің нәзік морфологиясын байқайға мүмкіндік береді. Беті кристалды және аморфты фрагменттермен жабылған,мүмкін органикалық заттар мен минералды тұздардың термиялық ыдырау өнімдері.

Өлшем шкласы 5 мкм Х3000 үлкейтілген сурет. Бұл беттің микроқұрылымын көруге мүмкіндік береді. Құрылымы бойынша: жарық қосындылары фосфаттар, карбонаттар немесе металл тұздары сияқты минералды қалдықтар болуы мүмкін. Қараңғы жерлер мен кеуекті матрица – көміртекті фаза, яғни органикалық материалдың пиролизінен қалған биочардың өзі.

Х10,000 үлкейту кезінде түсірілген сурет. Масштабты сызғыш 1 мкм ұзындығын көрсетеді, бұл наноөлшемді бет құрылымын қарастыруға мүмкіндік береді. Жұқа түйіршікті немесе торлы морфологиясы бар аймақтар көрінеді.

Бұл салыстырмалы түрде төмен үлкейту Х5 және 500 мкм масштабтағы сурет. Құрылым бос және гетерогенді болып көрінеді,бұл биочарға тән, әсіресе бейорганикалық қалдықтары жоғары қоқыстардан алынған. Өткір және дөңгелек пішіндерді ажыратуға болады. Мүмкін көміртекті фрагменттер мен минералды қоспалардың қоспасы.

Х100 және 100 масштабтағы суреті. Бөлшектердің беткі құрылымы әртүрлі: тегіс және өрескел қосындылар бар, бұл органикалық және бейорганикалық құрамдағы айырмашылықтарға байланысты болуы мүмкін.

Х200 және 100 мкм масштабтағы сурет. Ол алдыңғы Х100-ге қарағанда анағұрлым егжей-тегжейлі көрініс.Бөлшектердің пішіні мен құрылымдары

айқынырақ көрінеді. Пиролизден кейінгі органикалық қалдықтарға тән тығыз агрегаттар да, борпылдақ, кеуекті құрылымдарды байқауға болады.

X500 және 50 мкм масштабтағы сурет. Орталық фрагмент қабаты талшықты құрылымға ие, мүмкін органикалық шығу тегі тіндердің қалдықтары болуы мүмкін.

Элементтік анализ. Эксперименттің мақсаты топырақтағы қорғасынның (Pb) жылжымалы түрлеріне әртүрлі биочар құрамының әсерін зерттеу болды (4-кесте).

Кесте 4

Топырақтағы қорғасынның жылжымалы формаларының элементтік анализі

№ п/п	Іріктеу орны	Микроэлементтердің жылжымалы формалары, мг / кг
		Қорғасын
1	Қант қызылша биочар 1%	6,4
2	Қант қызылша 5%	5,5
3	Қант қызылша 10%	5,0
4	Топырақтағы қорғасынның бастапқы концентрациясы	3,1
5	Ауыр металмен ластанған топырақ	5,42

Эксперименттің басында қорғасынның бастапқы концентрациясы 3,1 мг/кг болатын жасанды ластанған топырақ дайындалды. бұл концентрация Pb келесі түрінде қолдану арқылы алынды:

– 500 г құрғақ топырақ құрамында 39,96 мг қорғасын бар 125 мл ерітіндімен араластырылды, бұл 200 мг/л ерітіндінің концентрациясына сәйкес келеді;

– содан кейін топырақ үлгілеріне биочардың әртүрлі мөлшері қосылды: топырақ массасының 1%, 5% және 10%;

– үлгілер 30 күн ішінде инкубацияланды.

Қорғасын мен биочардың әртүрлі дозаларын қосқаннан кейін, Pb жылжымалы формаларының мөлшері бастапқы деңгеймен салыстырғанда өсті. Алайда, биочар дозасының 10%-ға дейін жоғарылауымен қорғасынның жылжымалы формаларының төмендеуі байқалады, бұл биочардың сорбенттік қасиеттерін және оның топырақтағы ауыр металдардың қозғалғыштығын төмендету қабілетін көрсетеді.

Қорытынды. Зерттелген ғылыми жұмыста ауыр металдармен (Pb және Ni) ластанған топырақты тазарту мақсатында биочарды қолданудың тиімділігі зерттелді. Жүргізілген тәжірибелер мен талдаулар нәтижесінде биочардың ауыр металдарды адсорбциялау қасиеті жоғары екені оның топырақтың экологиялық жағдайын жақсартуға оң ықпал ететіні анықталды. Сонымен қатар,биочардың жүгері өсімдігінің өсуіне жағымды әсер ететіні және өсімдіктін биомассасын арттыратыны байқалды.

Зерттеу барысында пиролиз арқылы алынған биочардың үлестік мөлшері топыраққа енгізілгенде, ауыр металдардың жылжымалы формаларының концентрациясы азайып, өсімдіктің сол эелементерді сіңіруі төмендегені байқалды. Бұл биочардың фитоуындылықты төмендету қасиетін көрсетеді. Сондай-ақ, биогумуспен салыстырғанда биочардың ұзақ мерзімді тұрақтылық пен металдарды бекіту тиімділігі жоғарырақ болды.

Жұмыста қолданылған ИК-спектроскопия мен сканерлік электронды микроскоп (СЭМ) әдістері биочардың құрылымдық және химиялық

ерекшеліктерін тереңірек түсінуге мүмкіндік берді. Бұл зерттеудің ғылыми құндылығын арттырып,алынған нәтижелерді болашақта кең ауқымды агроэкологиялық тәжірибелерде пайдалануға жол ашты.

Қорытындылай келе, биочарды тоыпраққа енгізу ауыр металдармен ластанған жерлерді қалпына келтірудің экологиялық тұрғыдан қауіпсіз әрі тиімді әдісі бола алады. Алынған нәтижелер биологиялық ремидиация саласындағы зерттеулерді одан әрі тиімді әдісі бола алады. Алынған нәтижелер биологиялық ремедиация саласындағы зерттеулерді одан әрі тереңдетуге және биочардың түрлі типтерін тәжірибеде кеңінен қолдануға негіз бола алады.

Әдебиеттер тізімі

1. Джувеликян, Х.А. Загрязнение почв тяжелыми металлами. Способы контроля и нормирования загрязненных почв [Текст]: учеб.-метод. пособие / Х.А. Джувеликян, Д.И. Щеглов, Н.С. Горбунова. – Воронеж: ВГУ, Полиграфический центр ВГУ, 2009. – 4 с.
2. Костина, Л.В. Методы очистки загрязненных тяжелыми металлами почв с использованием (био)сурфактантов [Текст] / Л.В. Костина, М.С. Куюкина, И.Б. Ившина // Вестник Пермского университета. – 2009. – № 10. – С. 95-110.
3. Глазунова, Д.М. Оценка физико-химических характеристик биочара, полученного при разных режимах пиролиза [Текст] / Д.М. Глазунова, И.Р. Ахметгараева. – М.: ББК 20, 18 М77, 38 с.
4. Жандосова, Г.О. Жамбыл облысының тиімді экономикалық географиялық ресурстық әлеуетінің негізінде қант қызылшасы шаруашылығын кластерлік жүйеде дамытудың жолдары [Текст] / Г.О. Жандосова, Г.М. Сабденалиева, А.К. Куспанова // География и водные ресурсы. – 2021. – № 1. – С. 64-73.
5. Alaboudi, K.A., Ahmed B., Brodie G. Effect of biochar on Pb, Cd and Cr availability and maize growth in artificial contaminated soil // Annals of Agricultural Sciences. – 2019. – Vol. 64. – No. 1. – P. 95-102.
6. Ахмед, А.А. Возможность использования биоугля, полученного из органических отходов, для стабилизации тяжелых металлов в почве, загрязненной металлургическим заводом [Текст] / А.А. Ахмед, Цзяньхуа Ли, М.Х. Х. Аббас // Хемосфера. – 2014. – Т. 117. – С. 66-71.
7. Шафигуллина, Л.Р. Различные аспекты применения биочара [Текст] / Л.Р. Шафигуллина // Вестник магистратуры. – 2020. – № 5-5 (104). – С. 7-10.
8. Баздырев, Г.И. Тяжелые металлы в системе почва–растение на склоновых землях [Текст] / Г.И. Баздырев, Н.Б. Пронина, Д.Р. Родригес // Известия ТСХА. – 2001. – Вып. 2. – С. 81-104.
9. Крылова, А.Ю. Получение биоугля пиролизом биомассы [Текст] / А.Ю. Крылова, Е.Г. Горлов, А.В. Шумовский // Химия твердого топлива. – 2019. – № 6. – С. 55-64.

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 инжиниринг тік орталық құру» жоба аясында орындалды.

Материал редакцияға 04.08.25 түсті, 20.01.26 қабылданды.

Э.Н. Абдулова[1], Ұ.Ғ. Қанатбек[2], Е.Қ. Реймбаев[2], А.А. Куртебаева[2], А.М. Серикбаева[1], С.А. Орынбаев[2], Т.Г. Хелдер[3], М.С. Калмаханова[2]

[1]Южно-Казахстанский исследовательский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
[2]Таразский университет им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан
[3]Политехнический институт Брагансы, Браганса, Португалия

РАЗРАБОТКА РЕШЕНИЙ ПО РЕМЕДИАЦИИ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЁННЫХ ТЯЖЁЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ В ЗОНЕ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Аннотация. Загрязнение почв тяжёлыми металлами является одной из наиболее актуальных экологических проблем современного общества. В связи с этим целью данного исследования является очистка почв, загрязнённых тяжёлыми металлами (Ni и Pb), с использованием биоугля, а также оценка влияния биоугля на почву. В качестве сырья для получения биоугля использовались сельскохозяйственные отходы (свекловичный жом, куриный помёт). Биоуголь был получен методом пиролиза при температуре 450°C в течение 1 часа. Изучены физико-химические свойства полученного биоугля (ИК-спектроскопия, СЭМ). Был проведён процесс моделирования загрязнения почвы тяжёлыми металлами. Для этого был приготовлен раствор $Pb(NO_3)_2$ с концентрацией 200 мг/л, который вносился в 500 г почвы, после чего в почву добавлялся биоуголь из свекловичного жома в количестве 1%, 5% и 10%. По результатам 30-дневного инкубационного периода, на основании элементного анализа было выявлено снижение концентрации тяжёлых металлов. Влияние биоугля на почву дополнительно оценивалось методом посадки кукурузы.

Ключевые слова: биоуголь, пиролиз, почва, атомно-эмиссионная спектроскопия, ИК-спектр, тяжёлые металлы, элементный анализ, сканирующая электронная микроскопия (СЭМ).

E.N. Abdulova[1], U.G. Kanatbek[2], E.K. Reimbayev[2], A.A. Kurtebayeva[2], A.M. Serikbayeva[1], S.A. Orynbayev[2], T.G. Helder[3], M.S. Kalmakhanova[2]

[1]M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan
[2]M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan
[3]Polytechnic Institute of Bragança, Bragança, Portugal

DEVELOPMENT OF SOLUTIONS FOR THE REMEDIATION OF SOILS CONTAMINATED WITH HEAVY METALS IN THE WASTEWATER TREATMENT AREA

Abstract. Soil contamination with heavy metals is one of the most urgent environmental problems faced by modern society. Therefore, the aim of this study is to remediate soils contaminated with heavy metals (Ni and Pb) using biochar and to evaluate the effect of biochar on soil properties. Agricultural wastes (sugar beet pulp and chicken manure) were used as raw materials for biochar production. Biochar was obtained through a pyrolysis process at 450°C for 1 hour. The physicochemical properties of the obtained biochar (FTIR, SEM) were analyzed. A soil contamination modeling process was conducted: a $Pb(NO_3)_2$ solution with a concentration of 200 mg/L was prepared and introduced into 500 g of soil, after which biochar from sugar beet pulp was added at rates of 1%, 5%, and 10%. After a 30-day incubation period, elemental analysis showed changes in the concentration of heavy metals. The effect of biochar on soil was additionally evaluated by planting maize.

Keywords: biochar, pyrolysis, soil, atomic emission spectroscopy, FTIR, heavy metals, elemental analysis, scanning electron microscopy (SEM).

References

1. Dzhyuvelikyan H.A., Shcheglov D.I., Gorbunova N.S. Zagryaznenie pochv tyazhelymi metallami. Sposoby kontrolya i normirovaniya zagryaznennykh pochv [Soil

contamination with heavy metals. Methods of control and regulation of contaminated soils]: study guide. – Voronezh: VGU, Printing Center VGU, 2009. – 4 p. [in Russian].

2. Kostina L.V., Kuyukina M.S., Ivshina I.B. Metody ochistki zagryaznennykh tyazhelymi metallami pochv s ispol'zovaniem (bio)surfaktantov [Methods of cleaning soils contaminated with heavy metals using (bio)surfactants] // Bulletin of Perm University. – 2009. – No. 10. – P. 95-110. [in Russian].
3. Glazunova D.M., Akhmetgaraeva I.R. Otsenka fiziko-khimicheskikh kharakteristik biochara, poluchennogo pri raznykh rezhimakh piroliza [Evaluation of physicochemical characteristics of biochar obtained under different pyrolysis conditions]. – Moscow: BBK 20, 18 M77, 38 p. [in Russian].
4. Zhandosova G.O., Sabdenalieva G.M., Kuspanova A.K. Zhambyl oblysynyng tiimdi ekonomikalyk geografiyalyk resurstyk aleyettygyn negizinde kant kyzylshasy sharuashylyghyn klasterlik zhuide damytudyn zholdary [Development of the sugar beet industry in a cluster system based on the effective economic and geographical resource potential of Zhambyl region] // Geography and Water Resources. – 2021. – No. 1. – P. 64-73. [in Kazakh].
5. Alaboudi K.A., Ahmed B., Brodie G. Effect of biochar on Pb, Cd and Cr availability and maize growth in artificial contaminated soil // Annals of Agricultural Sciences. – 2019. – Vol. 64, No. 1. – P. 95-102.
6. Ahmed A.A., Li J., Abbas M.H.H. Vozmozhnost' ispol'zovaniya biouglya, poluchennogo iz organicheskikh otkhodov, dlya stabilizatsii tyazhelykh metallov v pochve, zagryaznennoy metallurgicheskim zavodom [Potential use of biochar derived from organic waste for stabilization of heavy metals in soil contaminated by metallurgical plant] // Chemosphere. – 2014. – Vol. 117. – P. 66-71. – doi:10.1016/j.chemosphere. [in Russian].
7. Shafigullina L.R. Razlichnye aspekty primeneniya biochara [Various aspects of biochar application] // Bulletin of Master's Program. – 2020. – No. 5-5 (104). – P. 7-10. [in Russian].
8. Bazdyrev G.I., Pronina N.B., Rodrigues D.R. Tyazhelye metally v sisteme pochva–rastenie na sklonovykh zemlyakh [Heavy metals in the soil–plant system on slope lands] // Izvestiya TSKhA. – 2001. – Issue 2. – P. 81-104. [in Russian].
9. Krylova A.Yu., Gorlov E.G., Shumovskiy A.V. Poluchenie biouglya pirolizom biomassy [Production of biochar by biomass pyrolysis] // Chemistry of Solid Fuels. – 2019. – No. 6. – P. 55-64. [in Russian].

МРНТИ 61.37.37 : 61.51.91

А.Н. Кыдырали[1] – *основной автор*,
Е.К. Онгарбаев[2]

[1]*Докторант*, [2]*Д-р хим. наук, профессор*

[1]*https://orcid.org/0009-0002-5111-6831* [2]*https://orcid.org/0009-0002-0418-9360*

[1,2]*Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан*
[1,2]*Институт проблем горения, Алматы, Казахстан*

[1]*aksaule2014r@gmail.com*

https://doi.org/10.55956/KEJP6440

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ СРЕД ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ

Аннотация. В настоящей работе представлены результаты синтеза азотсодержащих углеродных сорбентов на основе рисовой шелухи (РШ), модифицированного мочевиной в массовых соотношениях 1:1 и 1:2. Средний выход твердого остатка составил 37,3 % от массы исходного сырья. Сорбционная ёмкость достигла 140 мг/г при температуре карбонизации 500 °С. Метод СЭМ показал, что структура материала характеризуется пористостью с размерами пор 5–15 мкм, что способствует эффективному поглощению загрязнителей. Таким образом, синтезированные материалы демонстрируют потенциал в качестве эффективных сорбентов для очистки водных сред от органических загрязнителей.

Ключевые слова: углеродный сорбент, органический краситель, адсорбция, растительное сырье, мочевина.

Кыдырали, А.Н. Синтез и исследование сорбентов для очистки водных сред от органических красителей [Текст] / А.Н. Кыдырали, Е.К. Онгарбаев //Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №1(91). – С.383-390. https://doi.org/10.55956/KEJP6440

Введение. В последние годы в связи с быстрым ростом населения и промышленности спрос на качественную воду для антропогенной и производственной деятельности вырос в геометрической прогрессии [1]. Нынешнее снижение количества питьевой воды во всем мире связано не только с изменением климата, но и с достижениями цивилизации человека, в частности с выделением вредных загрязняющих веществ из промышленных секторов [2]. В то время как изменение климата меняет характер осадков и усугубляет засуху, промышленное загрязнение значительно снижает качество воды из-за выделения токсичных веществ, таких как тяжелые металлы, химические вещества и микропластик [3]. Важным источником загрязнения воды являются сточные воды промышленности [4].

Красители считаются органическими соединениями или добавками которые используются для добавления цвета в конечные продукты различных отраслей промышленности, таких как текстиль, живопись, целлюлозно-бумажная промышленность, косметика, продукты питания, кожа, резина, фармацевтика и производство красок [5-7]. Появление этих

продуктов приводит к образованию сточных вод, загрязненных всеми классами красителей [8]. Красители классифицируются на основе структуры и применения: это натуральные красители, синтетические красители, пищевые красители и красители, используемые в кожевенной, лазерной, бумажной промышленности и т. д.

Существуют много методов удаления загрязняющих веществ из сточных вод. Это биологическая очистка, флокуляция, химическое окисление, адсобция и электрохимическая очистка. Адсорбция является популярным и широко используемым методом удаления загрязняющих веществ, в том числе органических красителей. Адсорбция считается простым низкоэнергопотребляемым и высокоэффективным методом очистки. В процессе адсорбции широко используется активированный уголь в качестве адсорбента, но активированный уголь обычно получает из невозобновляемых ресурсов, как нефтяной кокс или бурый уголь. Поэтому исследователи подготовили биоуголь используя отходы растительного сырья в качестве адсорбента [9].

Для улучшения адсорбционных свойств биоугля исследователи стремятся оптимизировать его удельную поверхность, пористость и химические характеристики поверхности. Легирование атомами азота углеродной матрицы увеличивает гидрофильность, а также количество активных центров на поверхности сорбента. Исследователи установили, что адсорбционная емкость биоугля, легированного азотом увеличивается в 1,41 раз. Биоуголь, легированный азотом получают путем карбонизации, пиролиза в атмосфере аммиака или совместного пиролиза биомассы с азотосодержащими донорами [10].

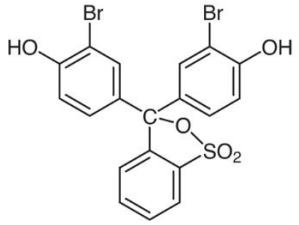
Гетероатомное легирование, введение атомов азота рассматриваются как перспективная стратегия повышения каталитической активности биоугля. Модификация атомами азота способствует нарушению π-структуры углеродной матрицы и созданию дополнительных каталитически активных центров. Однако связь между различными формами азота – пиридиновый, пирроловый и графитовый и доминирующими нерадикальными путями активации и прямой перенос электронов остается недостаточно изученной. Исследования указывают, что краевые конфигурации азота такие как пиридиновый и пирроловый азот, способствуют усилению пути переноса электронов. Это может модифицировать распределение электронной плотности в структуре биоугля, тем самым улучшая перенос электронов от загрязнителей к поверхностно-координированным реакционноспособным центрам [11,12].

Целью настоящего исследования является получение азот легированного биоугля и изучение его характеристик в качестве сорбента для удаления бромфенолового красного из водных растворов.

Условия и методы исследований. В качестве сырья для получения биоугля использовали рисовую шелуху (РШ), выращенную в Казахстане. Рисовая щелуха очищена и промыта несколько раз дистилированной водой высушена при температуре 100-105°С в течении 24 часов.

Химические реактивы, использованные в работе, были аналитически чистыми и применялись без дополнительной очистки: мочевина (карбамид) (РусХим, Россия), азот технический, первый сорт (99,6%) – расход азота составил 3 л/мин.

Бромфеноловый красный имеет молекулярную массу равной 480.16 г/моль и следующую структурную формулу:



Метод получения биоугля легированного азотом. Были синтезированы карбонизованные биоугли с легированием азота. Синтез азотсодержащего биоугля, легированного мочевиной, из рисовой шелухи осуществилось в два этапа.

Предварительно высушенная и гомогенизированная рисовая шелуха была пропитана водным раствором мочевины (10%) при различных массовых соотношениях РШ: мочевина – 1:1, 1:2. Каждому образцу биоугля добавляли 10%-ный раствор мочевины, смеси тщательно перемешивали. Процесс предварительного нагрева проводился в интервале температур 70-80°С с выдержкой в течение 3 часов, что обеспечивало равномерное распределение азотосодержащего реагента в структуре биомассы. После обработки пробы высушивали в электропечи при 105 °С для удаления влаги.

Пиролиз азот-пропитанных образцов проводился при температурном диапазоне 500–700 °С со скоростью нагрева 5 °С/мин. После достижения заданной температуры образцы выдерживали в течение 1 часа, обеспечивая полное разложение органических соединений и внедрение азота в углеродную матрицу. На протяжении всего процесса и в фазе охлаждения в печь подавался инертный газ (азот) с целью предотвращения окисления и стабилизации структуры получаемого материала. Полученный азотсодержащий биоуголь промывали дистиллированной водой удаляя растворимые побочные продукты. После промывки образцы сушили при 100–105 °С до постоянной массы и сохраняли в герметичных контейнерах для последующего анализа.

Метод инфракрасной (ИК) спектроскопии. Биоуголь, легированный азотом, исследован методом инфракрасной спектроскопии Фурье (ALPHA, Bruker) для определения химического состава. Анализ включал 24 сканов с интервалом 1см$^{-1}$. Измерения проводили в интервале частот колебаний 4000-500 см$^{-1}$

Метод сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Морфология полученных азотосодержащих биоуглей исследована с помощью сканирующей электронной микроскопии, для получения изображения СЭМ.

Метод ультрафиолетовой (УФ) спектроскопии. Оптические спектры поглощения были получено с помощью УФ спектрофотометра. Для калибровочного графика использовали модельные растворы бромфенолового красного с концентрацией от 2 до 10 мг/л.

Для определения сорбционной способности биоугля, легированного азотом, навески образцов массой 100 мг помещали в конические колбы, содержащие 25 мл модельного раствора бромфенолового красного красителя. Содержимое колб перемешивали с помощью мешалки со скоростью вращения 300 об/мин в течение 30-180 мин, затем анализировали остаточное содержание бромфенолового красителя методом УФ-спектроскопии при длине волны 437 нм.

Сорбционную ёмкость (q_e) рассчитывали по формуле:

$$q_e = \frac{(C_0\text{-}Ce)*V}{m} \quad (1)$$

где: q_e – сорбционная способность (мг/г); C_0 – начальная концентрация красителя (мг/л); C_e – концентрация после сорбции (мг/л); V – обьем (л); m – масса (г).

Результаты исследований и их обсуждение. Проведены исследования сорбционной способности карбонизованной рисовой шелухи, легированию азотом с мочевиной. Биоуголь, легированный азотом, получен в разных соотношениях РШ:мочевина 1:1, 1:2 при температурах 500 и 600°С. В таблице 1 приведен выход биоугля, после карбонизации. Как видно из таблицы температура незначительно влияют на выход биоугля легированного азотом, который в среднем составляет 37,3% (табл. 1)

Таблица 1

Выход биоугля легированного азотом после карбонизации рисовой шелухи

Исходная смесь и их соотношение	Температура карбонизации, °С	Выход, масс %
Рисовая шелуха: Мочевина (1:1)	500	35,6
Рисовая шелуха: Мочевина (1:1)	600	36,8
Рисовая шелуха: Мочевина (1:2)	500	39,9
Рисовая шелуха: Мочевина (1:2)	600	37,1

Увеличение соотношения РШ:мочевина с 1:1 до 1:2 привело к повышению выхода биоугля с 35,6% до 39,9% при 500°С и 36,8 до 37,1% при 600°С.

Результаты ИК спектроскопии. Методом инфракрасной спектроскопии изучены химический состав и функциональные группы образцов. На рисунках 1 и 2 приведены ИК спектры биоугля с легированием азота.

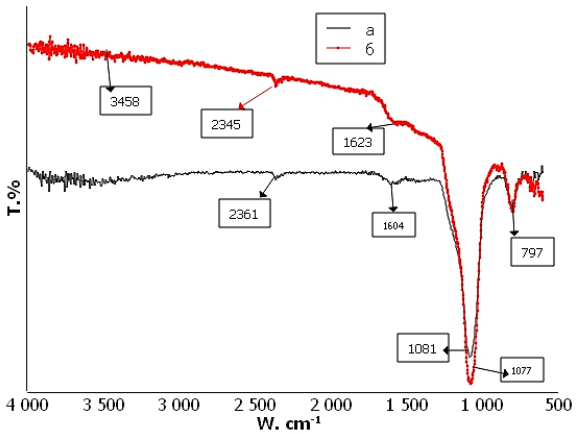


Рис. 1. ИК – спектры сорбентов: а – сорбент из биоугля, легированного азотом в соотношении 1:1 при 600° С; б – сорбент из биоугля, легированного азотом в соотношении 1:2 при 600°С

На рисунке 1 в спектре в области 3300-3500 см$^{-1}$ наблюдается широкое поглощение, что может указывать на присутствие связей N-H (амины, мочевина), Присутствие пика в области 1623 см$^{-1}$ может быть отнесено к колебаниям N-H, или валентным колебаниям C=C/C=O связей. Полосы

поглащения в диапазоне 2800-300 см$^{-1}$ подтверждают наличие С-Н связей характерных для алкильных связей. Совокупность данных свидетельствует о присутствии в образце органического соединения, содержащего азот, вероятно в виде аминогруппы.

ИК – спектры образцов сорбентов из биоугля, легированного азотом при 500°С представлены рисунке 2, доказано различия в составе функциональных групп. В спектре образца, где более выражены полосы поглощения в области 1574 см$^{-1}$ имеются ароматические связи С=С и С=N, а также полосе при 1383 см$^{-1}$ соответствует С-N или NO_2 группам, что указывает на более высокую степень азотного легирования по сравнению с образцом биоугля, полученного при соотношении РШ:мочевина 1:1.

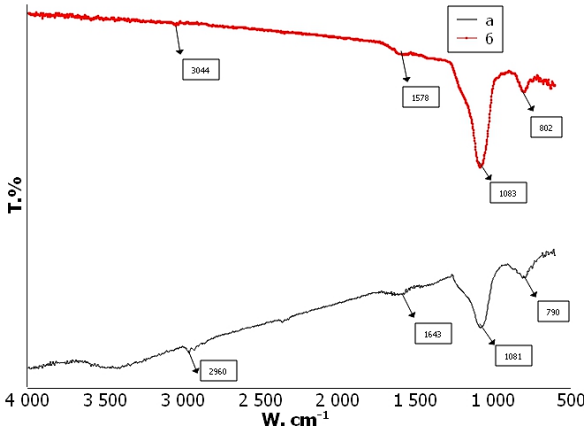


Рис. 2. ИК – спектры сорбентов: а – сорбент из биоугля, легированного азотом в соотношении 1:1 при 500°С; б – сорбент из биоугля, легированного азотом в соотношении 1:2 при 500°С

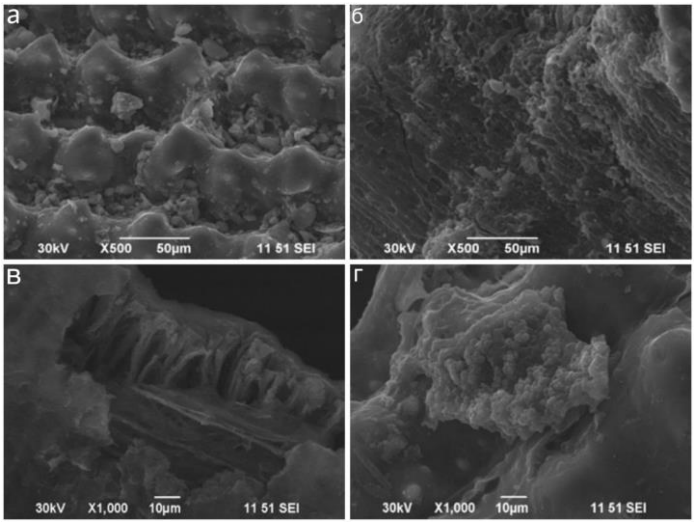


Рис. 3. СЭМ изображения сорбентов: а – сорбент из биоугля, легированного азотом в соотношении 1:1 при 600°С; б – сорбент из биоугля, легированного азотом в соотношении 1:2 при 600°С; в – сорбент из биоугля, легированного азотом в соотношении 1:1 при 500°С ; г – сорбент из биоугля, легированного азотом в соотношении 1:2 при 500°С

Результаты сканирующего электронного микроскопического анализа. Методом СЭМ определена структура поверхности биоугля легированного азотом. Как показано на рисунке 3 в СЭМ изображениях образцы имеют поры со средним диаметром 5-15 мкм.

Результаты сорбции бромфенолового красного красителя. Проведены исследования по определению сорбционной емкости биоугля, легированного азотом, полученного путем модификации мочевиной и последующей карбонизации. Образец РШ:мочевина 1:2 полученный при карбонизации при 500°С, и соотношениях РШ:мочевина 1:2 показал максимальную сорбционную ёмкость 140 мг/г после 180 мин сорбции.

На рисунке 4 представлены зависимости влияния времени контакта сорбента с раствором на сорбцию бромфенолового красного. Как показана на рисунке с увеличением времени контакта улучшается сорбционная емкость. Адсорбция красителя резко увеличивается в начале, что указывает на пористость сорбента. Процесс адсорбции после 15 мин достигая равновесия, имея незначительные скачки в некоторых этапах. За время контакта 180 минут максимальная сорбционная емкость достигла значения 140 мг/г.

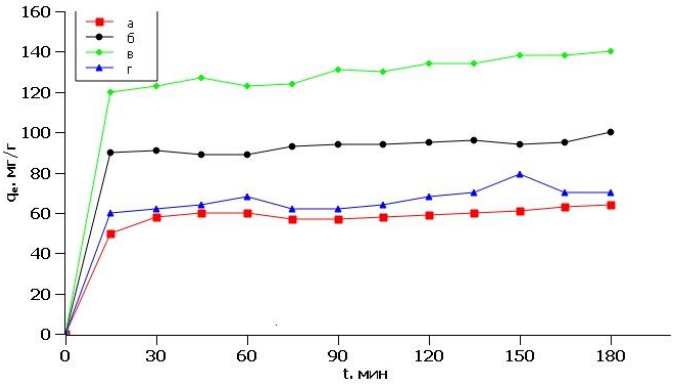


Рис. 4. Влияние времени контакта сорбента с раствором на адсорбцию бромфенолового красного: а – сорбент из биоугля, легированного азотом в соотношении 1:1 при 600°С; б – сорбент из биоугля, легированного азотом в соотношении 1:2 при 600°С: : в – сорбент из биоугля, легированного азотом в соотношении 1:1 при 500°С; г – сорбент из биоугля, легированного азотом в соотношении 1:2 при 500°С

Заключение. В результате термохимической модификации рисовой шелухи (РШ) с использованием мочевины в массовых соотношениях 1:1 и 1:2 были синтезированы азотсодержащие углеродные сорбенты. Процесс модификации включал предварительное смешение компонентов с последующей сушкой и карбонизацией полученных композиций в инертной атмосфере в температурном диапазоне 500-600°С. Проведение термической обработки в указанных условиях обеспечивало эффективного внедрения азотсодержащих функциональных групп в структуру углеродного материала, что способствовало повышению его сорбционных характеристик. Средний выход твердого углеродного остатка после карбонизации составил 37,3% от массы исходного материала, что свидетельствует об удовлетворительной термической стабильности полученных образцов и приемлемой степени сохранения углеродной фазы в процессе пиролиза. Азотосодержащее

сорбенты были использованы для адсорбции органического красителя – бромфенолового красного. Сорбционная емкость азотосодержащего сорбента карбонизованного при температуре 500°С составило 140 мг/г.

По изображениям СЭМ, размер пор азотосодержащих сорбентов составляет в среднем 5-15 мкм.

Список литературы

1. Sharma K., Rajan S., Nayak S.K. Water pollution: Primary sources and associated human health hazards with special emphasis on rural areas // Water Resources Management for Rural Development. – Elsevier, 2024. – P. 3-14. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18778-0.00014-3.
2. Jones K.C., de Voogt P. Persistent Organic Pollutants (POPs) // Environmental Pollution. – 1999. – Vol. 100. – P. 209-221. https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00098-6.
3. Alharbi O.M.L., Basheer A.A., Khattab R.A., Ali I. Health and environmental effects of persistent organic pollutants // Journal of Molecular Liquids. – 2018. – Vol. 263. – P. 442-453. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.05.029.
4. Mukhopadhyay A., Duttagupta S., Mukherjee A. Emerging organic contaminants in global community drinking water sources and supply: A review of occurrence, processes and remediation // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2022. – Vol. 10. – No. 3. – P. 107560. https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107560.
5. Pavithra K.G., et al. Removal of colorants from wastewater: A review on sources and treatment strategies // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. – 2019. – Vol. 75. – P. 1-19.
6. Agorku E.S., Pandey A.C., Mamba B.B., Mishra A.K., Gd C.N.S. Multi-doped ZrO2 for photocatalytic degradation of indigo carmine dye from synthetic water under simulated solar light // Materials Today: Proceedings. – 2015. – Vol. 2. – No. 7. – P. 3909-3920.
7. Rosa J.M., Fileti A.M.F., Tambourgi E.B., Santana J.C.C. Dyeing of cotton with reactive dyestuffs: the continuous reuse of textile wastewater effluent treated by ultraviolet (UV)/hydrogen peroxide (H2O2) homogeneous photocatalysis // Journal of Cleaner Production. – 2015. – Vol. 90. – P. 60-65.
8. Tahir U., Yasmin A., Khan U.H. Phytoremediation: potential flora for synthetic dyestuff metabolism // Journal of King Saud University – Science. – 2016. – Vol. 28. – No. 2. – P. 119-130.
9. Santana M.S., Alves R.P., Santana L.S., Gonçalves M.A., Guerreiro M.C. Structural, inorganic, and adsorptive properties of hydrochars obtained by hydrothermal carbonization of coffee waste // Journal of Environmental Management. – 2022. – Vol. 302, Part A. – P. 114021. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114021.
10. Lin Z., Wang R., Tan S., Zhang K., Yin Q., Zhao Z., Gao P. Nitrogen-doped hydrochar prepared by biomass and nitrogen-containing wastewater for dye adsorption: Effect of nitrogen source in wastewater on the adsorption performance of hydrochar // Journal of Environmental Management. – 2023. – Vol. 334. – P. 117503. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117503.
11. Wang H., Guo W., Liu B., Wu Q., Luo H., Zhao Q., Si Q., Sseguya F., Ren N. Edge-nitrogenated biochar for efficient peroxydisulfate activation: An electron transfer mechanism // Water Research. – 2019. – Vol. 160. – P. 405-414. https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.05.059.
12. Wan Y., Hu Y., Zhou W. Catalytic mechanism of nitrogen-doped biochar under different pyrolysis temperatures: The crucial roles of nitrogen incorporation and carbon configuration // Science of The Total Environment. – 2022. – Vol. 816. – P. 151502. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151502.

Материал поступил в редакцию 08.08.25, принят 06.02.26.

А.Н. Қыдырәлі[1,2], Е.К. Онгарбаев[1,2]

[1]әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан
[2]Жану проблемалары институты, Алматы, Қазақстан

СУЛЫ ОРТАЛАРДАН ОРГАНИКАЛЫҚ БОЯҒЫШТАРДЫ ТАЗАЛАУҒА АРНАЛҒАН СОРБЕНТТЕР СИНТЕЗДЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Бұл жұмыста 1:1 және 1:2 массалық қатынасында мочевинамен модификацияланған күріш қауызы негізіндегі азоты бар көміртекті сорбенттер синтезінің нәтижелері берілген. Қатты қалдықтың орташа шығымы бастапқы шикізат массасының 37,3% құрады. Сорбциялық қабілеті 500°C карбонизация температурасында 140 мг/г құраады. СЭМ нәтижелері материалдың құрылымы ластаушы заттардың тиімді сіңірілуіне ықпал ететін кеуек өлшемдері 5-15 мкм болатын кеуектілікпен сипатталатынын көрсетті. Осылайша, синтезделген материалдар сулы ортаны органикалық ластаушы заттардан тазарту үшін тиімді сорбенттер ретінде потенциалды көрсетеді.

Тірек сөздер: көміртекті сорбент, органикалық бояғыш, адсорбция, өсімдік материалдары, мочевина.

A.N. Kydyrali[1,2], E.K. Ongarbayev[1,2]

[1]Al-Farabi Kazakh National University , Almaty, Kazakhstan
[2]Institute Combustion Problems, Almaty, Kazakhstan

SYNTHESIS AND STUDY OF SORBENTS FOR THE REMOVAL OF ORGANIC DYES FROM AQUEOUS MEDIA

Abstract. This paper presents the results of the synthesis of nitrogen-containing carbon sorbents based on plant raw materials modified with urea in mass ratios of 1:1 and 1:2. The average yield of solid residue was 37.3% of the initial raw material mass. The sorption capacity reached 140 mg/g at a carbonization temperature of 500°C. SEM showed that the structure of the material is characterized by porosity with pore sizes of 5–15 µm, which contributes to the effective absorption of pollutants. Thus, the synthesized materials demonstrate potential as effective sorbents for the purification of aqueous media from organic pollutants.

Keywords: carbon sorbent, organic dye, adsorption, vegetable raw materials, urea.

IRSTI 61.57.31

R. Rajasekharan ©

PhD, associate professor
https://orcid.or/0000-0003-2091-0135
Providence College of Engineering, Kerala, India
reshmypkumar@gmail.com

https://doi.org/10.55956/HGHP9116

POLYMER COMPOSITE MATERIALS WITH SORPTION PROPERTIES: STRUCTURE, MODIFICATION AND APPLICATIONS

Abstract. Polymer composite materials with sorption properties have attracted increasing attention due to their potential application in environmental technologies, particularly in water purification systems. Recent advances in polymer chemistry and materials science have enabled the development of functional composites with controlled physicochemical characteristics and improved adsorption performance. Among various materials, cellulose- and chitosan-based composites are considered promising due to their biodegradability, availability and the presence of reactive functional groups capable of interacting with different classes of pollutants. This review analyzes recent progress in the design and modification of polymer composite sorbents, focusing on the relationship between structural organization, functional group accessibility and adsorption efficiency. Particular attention is given to the role of intermolecular interactions, pore architecture and chemical modification in controlling sorption behavior toward heavy metal ions, dyes and pharmaceutical contaminants. The results of recent studies demonstrate that adsorption performance is determined not only by chemical composition but also by structural parameters governing diffusion processes and stability of polymer matrices. The analysis indicates that modern research trends are directed toward development of multifunctional hybrid materials with improved selectivity, regeneration ability and stability under realistic conditions. Future progress in this field is associated with integration of structure–property analysis, predictive modelling and scalable synthesis approaches for creation of efficient and environmentally safe sorbent materials.

Keywords: polymer composite sorbents, cellulose, chitosan, adsorption, water purification

Rajasekharan R. Polymer Composite materials with sorption properties: structure, modification and applications // Mechanics and Technologies / Scientific Journal. – 2026. – No.1(91). – P.391-404. https://doi.org/10.55956/HGHP9116

Introduction. In recent decades, increasing environmental pollution caused by industrial development, population growth and intensive use of chemical substances has stimulated the search for new functional materials capable of ensuring effective purification of water and air environments. The presence of heavy metal ions, dyes, pharmaceutical residues and other toxic compounds in wastewater represents a serious global ecological problem, requiring the development of efficient, economically accessible and environmentally safe purification technologies [1-3]. In this context, special attention has been paid to sorption materials characterized by high efficiency, structural stability and the possibility of multiple reuse.

Among various classes of materials, polymer composite systems occupy a particular place due to the possibility of regulating their physicochemical properties through modification of structure and composition. Polymer composites demonstrate high mechanical strength, developed specific surface area and a wide range of functional properties, which makes them promising for application in environmental technologies, catalysis, membrane separation and biomedical fields [4,5]. The combination of organic polymer matrices with functional additives allows obtaining materials with improved sorption capacity, chemical resistance and controlled porosity.

Particular scientific interest is associated with natural polymers such as cellulose and chitosan, which possess a number of advantages compared to synthetic analogues, including biodegradability, low toxicity, availability and the presence of reactive functional groups capable of participating in intermolecular interactions [6-8]. Cellulose is the most common natural polysaccharide, with a linear structure consisting of β-D-glucopyranose units linked by β-1,4-glycosidic bonds. The presence of a large number of hydroxyl groups in the cellulose structure ensures the formation of a developed system of hydrogen bonds, which influence the mechanical and adsorption properties of the material [9].

Chitosan, obtained by deacetylation of chitin, is characterized by the presence of amino groups capable of forming coordination bonds with metal ions and participating in electrostatic interactions with various organic compounds [10]. The combination of cellulose and chitosan in composite materials makes it possible to obtain structures with improved physicochemical characteristics, including increased sorption capacity, hydrophilicity and structural stability [11].

Modern research demonstrates that modification of polymer matrices plays an important role in regulating the structure and functional properties of composite materials. Introduction of nanoparticles, cross-linking agents and functional modifiers contributes to changes in pore size distribution, surface activity and chemical stability of materials [12]. As a result, it becomes possible to obtain composites with controlled adsorption properties and improved interaction with target pollutants.

An important advantage of polymer composite materials is the possibility of tailoring their physicochemical properties depending on the field of application. Regulation of porosity, hydrophilic-hydrophobic balance and surface charge allows optimization of adsorption processes and increases efficiency of pollutant removal from aqueous solutions [13]. In addition, the use of renewable raw materials corresponds to the principles of sustainable development and green chemistry, which is one of the priority directions of modern chemical science [14].

Despite the significant number of studies devoted to polymer composites, the relationship between structure, physicochemical properties and functional characteristics of materials remains insufficiently systematized. Many studies focus on specific modification methods or particular applications, while comprehensive analysis of structure-property relationships is still limited [15]. Therefore, systematization of modern literature data and identification of key factors influencing sorption properties of polymer composite materials represent an important scientific task.

The purpose of this review is to analyze modern approaches to the synthesis and modification of polymer composite materials and to evaluate the influence of structural characteristics on their physicochemical properties and functional performance. Particular attention is paid to intermolecular interactions, hydrogen bonding systems and the role of functional groups in formation of adsorption centers.

The results of the review may contribute to the development of new functional materials with controlled properties for environmental and technological applications.

Materials and Methods. The methodological framework of this review is based on the systematic analysis and critical evaluation of scientific publications devoted to polymer composite materials with sorption properties, with particular emphasis on cellulose- and chitosan-based systems. The study focuses on the investigation of structure-property relationships, physicochemical characteristics and functional performance of polymer composites used in environmental and chemical applications.

The literature search was conducted using international scientific databases, including Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink, and Google Scholar. Priority was given to peer-reviewed journal articles, review papers and monographs published mainly during the last 10-15 years in the field of polymer chemistry, materials science and environmental chemistry. Classical fundamental studies widely recognized in the scientific community were also considered to ensure continuity of theoretical approaches.

The search strategy included combinations of keywords related to polymer composite materials and sorption processes, such as polymer composites, cellulose, chitosan, physicochemical properties, adsorption, functional materials, biopolymers, composite structure, and surface modification. Boolean operators (AND, OR) were applied to refine the search and obtain relevant scientific publications. Additional sources were identified through analysis of reference lists in highly cited articles.

The selection of publications was carried out according to the following inclusion criteria:

- relevance to polymer composite materials with sorption properties
- presence of information on physicochemical characteristics of materials
- investigation of structural features of polymer matrices
- analysis of modification methods and functionalization approaches
- availability of experimental or theoretical data describing adsorption mechanisms

Studies not directly related to polymer composite systems or lacking sufficient scientific justification were excluded from consideration. Particular attention was paid to works describing the influence of functional groups, intermolecular interactions and structural organization on adsorption capacity and stability of materials.

The collected literature sources were classified according to several parameters, including type of polymer matrix, method of modification, physicochemical characteristics and field of application. Comparative analysis of literature data made it possible to identify the main directions of development of polymer composite materials and determine key factors influencing their functional properties.

Special attention was devoted to the analysis of intermolecular interactions occurring in polymer matrices, including hydrogen bonding, electrostatic interactions and coordination interactions between functional groups and adsorbed substances. These interactions play a fundamental role in formation of adsorption centers and determine sorption capacity of composite materials.

The methodological approach used in this review allows systematization of modern scientific knowledge in the field of polymer composite materials and identification of promising future research directions. The obtained results provide a

theoretical basis for the development of new functional materials with controlled physicochemical properties and improved sorption performance.

Research results. *Structural organization of polymer composites as the main factor controlling sorption behavior.* Analysis of recent studies shows that the adsorption efficiency of polymer composite sorbents is determined not simply by the chemical nature of cellulose or chitosan, but by the way these polymers are organized into a three-dimensional structure. In the publications of the last five years, the most effective systems are consistently those in which the polymer matrix combines high accessibility of functional groups with a developed pore network and sufficient mechanical integrity under aqueous conditions. This explains the sustained interest in hydrogels, aerogels and porous monoliths rather than in non-structured polymer powders.

The adsorption performance of polymer composite sorbents is strongly influenced by structural organization of the polymer matrix, which determines accessibility of functional groups and diffusion of pollutant molecules. Porous architecture improves contact between adsorption sites and contaminants, contributing to enhanced sorption efficiency. The relationship between structural parameters and adsorption performance is schematically illustrated in Figure 1.

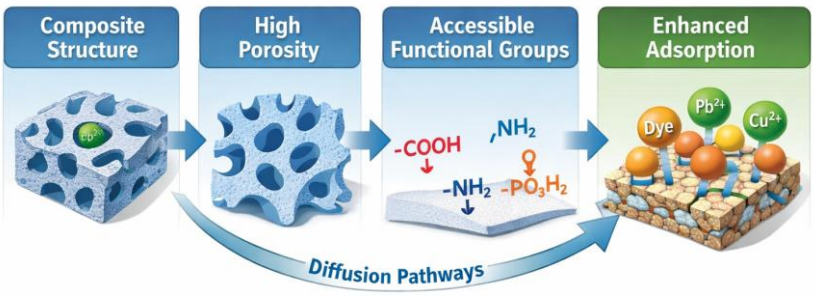


Fig. 1. Structure-property relationship in polymer composite sorbents

Figure 1 illustrates the relationship between structural organization of polymer composite materials and their adsorption performance. The scheme demonstrates how porous architecture, accessibility of functional groups (–OH, $–NH_2$, –COOH, $–PO_3H_2$) and diffusion pathways influence interaction between the sorbent surface and pollutant molecules. The hierarchical structure of polymer matrices facilitates mass transfer and improves accessibility of adsorption sites, resulting in enhanced removal efficiency of heavy metal ions and organic contaminants.

In a 2024 review on cellulose-based adsorbents for toxic metal removal, El Mahdaoui et al. emphasize that cellulose modification is valuable not only because it increases the number of binding sites, but because it also allows one to tune robustness, selectivity and reusability, which are decisive for practical application. The same review makes clear that porosity, surface area and chemical stability must be considered together, since improvement in one parameter does not automatically produce superior adsorption in real systems [16,17].

This tendency is well illustrated by recent cellulose-chitosan composite hydrogels and aerogels. In the work of Yang et al. (2024), cellulose-chitosan hydrogels served as a stable matrix for in situ grown β-FeOOH nanoparticles, and the authors directly linked the nanoporous framework with improved contact between active sites and methyl orange molecules. Under optimal conditions, the

material reached a removal rate of 97.75% within 40 minutes and retained 80.81% efficiency after five cycles, indicating that hierarchical structure can support both adsorption and catalytic conversion rather than adsorption alone. Importantly, the study also showed that increasing β-FeOOH loading did not lead to a uniformly positive effect: although photocatalytic contribution improved, excessive loading reduced specific surface area and could slow the adsorption stage. This is a recurring result in recent literature: the best-performing composites are not those with the highest additive content, but those where the active phase remains structurally accessible [18].

A similar structure–performance relationship appears in cellulose/chitosan systems combined with metal–organic frameworks. Liu et al. (2021) reported that incorporation of HKUST-1 into a cellulose/chitosan aerogel increased the BET surface area from 9.74 to 457.75 $m^2\ g^{-1}$, while the adsorption capacity toward methylene blue reached 526.3 mg g^{-1} with good recyclability. However, the significance of this result is not only the high numerical capacity. More importantly, it shows that cellulose/chitosan matrices can act as stabilizing scaffolds for more fragile or aggregation-prone functional phases. At the same time, such hybridization introduces a new challenge: high porosity and strong dye uptake may be achieved at the expense of synthesis complexity, cost and possible reduction in long-term hydrolytic stability compared with simpler biopolymer-only materials. Thus, the current literature indicates that architecture engineering is productive, but the performance gains must be interpreted together with fabrication feasibility [19].

Functional group engineering: from passive biosorbents to selective chemisorption systems. A second major trend in the 2021-2025 literature is the transition from unmodified polysaccharide sorbents to chemically engineered composites with targeted binding groups. Native cellulose and chitosan already provide hydroxyl and amino functionalities, but recent studies increasingly show that these groups alone are often insufficient when rapid uptake, high capacity and ion selectivity are required simultaneously. As a result, current research is shifting toward phosphonation, amination, oxidation, grafting and hybrid inorganic modification. The rationale is straightforward: sorption performance improves when the surface contains donor groups with stronger coordination ability toward metal ions or more specific electrostatic affinity toward ionic dyes and pharmaceuticals. This general pattern is also supported by broader reviews on cellulose- and chitosan-based sorbents published in 2023-2025 [20,21].

One of the clearest examples is the phosphonate-functionalized chitosan/cellulose hydrogel reported by Sun et al. (2024). The authors explicitly positioned their material against earlier cellulose/chitosan hydrogels, noting that previously reported systems frequently suffered from either long equilibrium times or insufficient adsorption capacity. Their two-step strategy, involving phosphorylation and a Mannich reaction, was designed to introduce stronger chelating sites without abandoning the advantages of a biomass-derived hydrogel framework. The study is important in a review context because it does not merely claim that “modification improves adsorption”; it demonstrates why chelating functionalization matters chemically. At the same time, the authors also highlight a key synthetic limitation: once polysaccharides are chemically modified, their solubility and processability change, meaning that standard co-dissolution/regeneration routes are no longer always suitable. In other words, functionalization increases affinity but can complicate fabrication. This trade-off is central to the current stage of the field [22].

Recent work on magnetic chitosan composites reveals a comparable pattern. Zhang et al. (2023) prepared a Fe_3O_4/chitosan/sludge-biochar composite that reached 99.77% Cu^{2+} removal and a maximum adsorption capacity of 55.16 mg g^{-1}, while also allowing rapid solid–liquid separation under a magnetic field. From a practical standpoint, this is highly relevant because separation and regeneration are often overlooked bottlenecks in adsorption research. Yet the capacity itself is moderate compared with some highly functionalized hydrogels and MOF-containing aerogels. This comparison is instructive: magnetic modification may not always produce the absolute highest uptake, but it adds operational value through recoverability. Therefore, recent results suggest that the "best" sorbent depends on the target criterion-maximum capacity, fastest kinetics, easiest separation, or best cyclic stability-not on a single adsorption number [23,24].

Influence of pollutant type on adsorption efficiency. A critical reading of recent publications shows that adsorption results are often discussed too generally, whereas the actual removal mechanism depends strongly on the pollutant class. For heavy metal ions, the dominant factors are usually coordination ability, surface charge and accessibility of oxygen- and nitrogen-containing donor sites. For dyes, pore architecture and electrostatic attraction play a stronger role, and for pharmaceutical molecules, additional interactions such as hydrogen bonding, π–π interactions and steric selectivity become increasingly important. As a consequence, a composite optimized for Cu(II) or Pb(II) capture cannot automatically be assumed effective for tetracycline, ciprofloxacin or mixed dye systems. Recent reviews focused on cellulose-based wastewater materials and chitosan-based pollutant removal repeatedly stress this point [25].

For heavy metal removal, recent cellulose-based systems remain particularly strong because hydroxyl-rich matrices can be readily converted into chelating adsorbents. According to the 2024 review by El Mahdaoui et al., modification strategies are increasingly directed not only toward increasing capacity, but also toward tailoring selectivity for toxic cations and improving regeneration performance. This is consistent with the broader trend toward adsorbents that are chemically "programmed" for target ions rather than broadly adsorptive but poorly selective substrates. In practice, this means that aminated, phosphorylated and magnetic cellulose/chitosan systems are more likely to move forward than unmodified biopolymer matrices [16].

For dyes, however, the literature suggests a somewhat different design logic. The HKUST-1/cellulose/chitosan aerogel described by Liu et al. (2021) performed extremely well for methylene blue, largely because the hybrid architecture created a very high surface area and a porous network favorable for cationic dye uptake [19]. Likewise, the double-cross-linked bamboo-paper/chitosan aerogel reported by Qiu et al. (2022) was designed for both cationic and anionic dyes in single and binary systems, using sequential physical and chemical cross-linking to reinforce the bead structure. This is important because many dye-removal studies still evaluate only one model dye under ideal conditions, whereas binary systems are far more representative of real wastewater. The newer literature is beginning to address this gap, but not yet consistently [26].

Pharmaceutical contaminants remain the least mature application area among the three. Recent reviews note growing interest in chitosan-based adsorbents for antibiotics, but also emphasize that selectivity, matrix interference and pilot-scale validation are still insufficiently developed. Kurczewska et al. (2024), for example, reported chitosan/halloysite-supported molecularly imprinted polymer beads with high selectivity for tetracycline, and the adsorption properties were maintained in

real water and soil samples. This is a notable step beyond standard batch tests because it introduces molecular recognition into a biopolymer-based adsorbent. Similarly, a 2025 study on cellulose/chitosan composites for ciprofloxacin removal combined adsorption experiments with DFT analysis, showing that the adsorbed state was energetically favorable. Such studies indicate that the field is beginning to move from empirical screening toward mechanism-informed design. Nevertheless, compared with metal-ion adsorption, the evidence base for pharmaceuticals is still narrower and less standardized [27].

The diversity of modification strategies and pollutant-specific adsorption mechanisms reported in recent literature demonstrates that polymer composite sorbents cannot be evaluated using a single performance parameter. Table 1 summarizes representative studies published between 2021 and 2025, highlighting differences in modification approaches, adsorption performance and reusability characteristics of cellulose- and chitosan-based composites.

Table 1

Comparison of recent polymer composite sorbents

Material	Modification	Pollutant	Capacity (mg g^{-1})	Reusability cycles	Ref
Cellulose/chitosan/ β-FeOOH hydrogel	in situ growth of β-FeOOH nanoparticles	methyl orange	97.75% removal	5 cycles (80.81% retained)	[18]
Cellulose/chitosan aerogel/HKUST-1	MOF incorporation	methylene blue	526.3	5 cycles	[19]
Phosphonate-functionalized cellulose/chitosan hydrogel	phosphorylation + Mannich reaction	Pb^{2+}, Cu^{2+}	high removal efficiency	5 cycles	[22]
Magnetic chitosan/sludge biochar composite	Fe_3O_4 incorporation	Cu^{2+}	55.16	multiple cycles	[23]
Chitosan/halloysite molecularly imprinted polymer	molecular imprinting	tetracycline	high selectivity adsorption	repeated use	[27]

Stability and reusability of polymer composite sorbents. One of the clearest distinctions between stronger and weaker recent studies is the extent to which they go beyond equilibrium capacity as the principal performance metric. In many adsorption papers, the headline result is still a maximum capacity fitted by the Langmuir model. Yet the more informative studies published in the last five years increasingly report kinetics, cyclic stability, competitive effects, and in some cases real-sample behavior. This is a meaningful methodological improvement because capacity alone often overestimates practical value. A material with a lower nominal uptake but faster adsorption, easier separation and better regeneration may be more suitable for application than a high-capacity sorbent requiring long equilibrium times or delicate synthesis [28].

Recent literature demonstrates that long-term operational stability is becoming a central criterion for evaluating the applicability of polymer composite sorbents in water treatment technologies. While earlier studies often focused primarily on equilibrium adsorption capacity, more recent investigations emphasize

the importance of maintaining structural integrity and adsorption efficiency during repeated adsorption-desorption cycles. This shift reflects the growing recognition that practical implementation requires materials capable of functioning under dynamic conditions, including fluctuations in pH, ionic strength, and pollutant concentration. In particular, cyclic adsorption performance has become a key indicator of economic feasibility, as regeneration ability directly influences operational costs and environmental sustainability [29,30].

A number of recent studies show that stability of polymer composite sorbents depends strongly on the nature of cross-linking interactions within the polymer matrix. Covalent cross-linking is often associated with improved resistance to swelling and dissolution, which are common limitations of polysaccharide-based materials. For example, Zia et al. (2019) demonstrated that epichlorohydrin-crosslinked chitosan composites retained high adsorption efficiency toward Cu(II) ions after multiple regeneration cycles due to enhanced rigidity of the polymer network [31]. Similarly, Liu et al. (2015) reported that chemically stabilized cellulose hydrogels maintained stable adsorption capacity for methylene blue after repeated desorption processes, indicating that preservation of the three-dimensional polymer structure is essential for maintaining accessibility of functional groups [32].

Another important factor influencing reusability is the reversibility of interactions between sorbent surface and adsorbed molecules. Polymer composites containing functional groups capable of forming coordination or electrostatic interactions often exhibit improved regeneration performance when desorption is carried out using mild eluents such as dilute acid or ethanol solutions. According to Hsu et al. (2024), chitosan-based adsorbents demonstrated relatively stable removal efficiency for Pb(II) after several regeneration cycles, confirming that reversible binding interactions can provide a balance between strong adsorption affinity and effective desorption. In contrast, excessively strong chemisorption may reduce regeneration efficiency due to incomplete removal of adsorbed species from active sites [33].

Recent investigations also highlight the influence of structural heterogeneity on durability of adsorption performance. Porous polymer networks containing interconnected macro- and mesopores facilitate diffusion of adsorbate molecules and reduce accumulation of pollutants within the internal structure of the sorbent. Jain et al. (2022) showed that cellulose aerogels with hierarchical porosity exhibited stable adsorption behavior during repeated cycles, which was attributed to improved mass transfer and reduced pore blockage. These findings suggest that transport properties of polymer matrices represent an important parameter determining long-term operational stability [34].

Resistance to interference from coexisting substances present in real wastewater systems is another aspect increasingly addressed in recent publications. The presence of competing ions or natural organic matter may reduce adsorption efficiency due to competition for active binding sites or partial surface fouling. According to the study by Nguyen et al. (2022), adsorption capacity of chitosan-based sorbents decreased in multicomponent systems compared with single-solute solutions, highlighting the importance of evaluating sorbents under realistic conditions. Such results confirm that laboratory-scale adsorption values may overestimate actual performance when complex water matrices are considered [35].

In practical water treatment applications, adsorption capacity alone is insufficient to evaluate the performance of polymer composite sorbents. Regeneration ability and stability of adsorption efficiency during repeated cycles represent key parameters determining economic and technological feasibility of

sorbent materials. The cyclic adsorption–desorption process and preservation of structural integrity of polymer composites are illustrated in Figure 2.

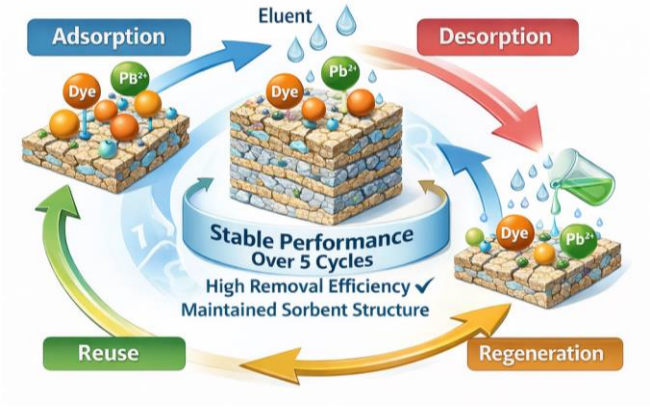


Fig. 2. Adsorption-desorption cycle and reusability of polymer composite sorbents

Figure 2 presents a schematic representation of adsorption–desorption regeneration cycles demonstrating stability of polymer composite sorbents during repeated use. The scheme illustrates reversible interaction between pollutant molecules and functional groups of the polymer matrix, followed by desorption using appropriate eluents and subsequent regeneration of active adsorption sites. Preservation of structural integrity over multiple cycles indicates the importance of cross-linking interactions and hierarchical porosity for maintaining long-term sorption performance.

Overall, recent research indicates that stability and reusability of polymer composite sorbents are governed by a combination of structural robustness, reversibility of adsorption interactions, and resistance to environmental interference factors. The most promising materials are characterized by the ability to maintain adsorption efficiency during repeated cycles without significant structural degradation or loss of active binding sites. Consequently, contemporary studies increasingly emphasize the importance of integrating adsorption performance with durability assessment in order to identify materials suitable for practical water purification applications.

Discussion. The rapid expansion of research on polymer composite sorbents reflects a broader shift in materials chemistry from empirical material development toward knowledge-driven design of functional systems with predictable physicochemical behavior. Contemporary literature demonstrates that adsorption efficiency is increasingly interpreted as an emergent property arising from the interplay between polymer architecture, distribution of active functional groups, and stability of intermolecular interactions under operational conditions. Rather than focusing exclusively on increasing adsorption capacity, recent investigations emphasize optimization of structural parameters governing accessibility of adsorption sites, diffusion pathways, and resistance of polymer networks to physicochemical degradation. Such an approach corresponds to the general trend toward rational engineering of materials based on structure–property relationships [36].

A key conceptual development in recent years involves the transition from single-component sorbents toward hybrid polymer composite systems integrating organic matrices with inorganic or carbon-based functional phases. These hybrid

materials aim to overcome inherent limitations of individual polymers, including insufficient mechanical stability, sensitivity to environmental conditions, and limited selectivity toward structurally diverse pollutants. However, critical examination of recent studies indicates that increasing compositional complexity does not automatically translate into improved adsorption performance. In many cases, incorporation of nanofillers or additional functional modifiers leads to partial aggregation or reduced accessibility of active sites, ultimately limiting sorption efficiency despite increased theoretical surface area. Recent reviews highlight that the relationship between material complexity and performance remains non-linear, and excessive modification may reduce reproducibility and complicate large-scale synthesis [20].

An important consideration emerging from recent literature is the need to balance structural stability with molecular accessibility of adsorption centers. While highly porous polymer networks typically demonstrate increased surface area, excessive porosity may compromise mechanical stability of the composite, particularly under repeated adsorption–desorption cycles or continuous flow conditions. Conversely, densely crosslinked polymer matrices often exhibit improved durability but reduced diffusion rates of pollutant molecules. Studies on polymer nanocomposites for dye removal show that hierarchical pore systems can provide improved mass transfer characteristics while maintaining sufficient structural integrity of the material [37]. This observation suggests that future material design strategies should consider pore connectivity and structural resilience simultaneously rather than treating surface area as an isolated performance parameter. Sustainability considerations increasingly influence the direction of research on polymer composite materials. Natural polymers such as cellulose and chitosan are widely regarded as promising alternatives to conventional synthetic sorbents due to their biodegradability, low toxicity, and availability from renewable resources. However, variability of natural feedstocks may influence reproducibility of physicochemical properties of derived composites. Differences in crystallinity, molecular weight distribution, and residual impurities may lead to significant variation in adsorption behavior even among materials prepared using similar synthesis procedures. Recent bibliometric analyses of chitosan-based adsorbents highlight the growing importance of standardization in characterization methods to ensure comparability of experimental results across different research groups [37].

Chemical modification strategies remain essential for enhancing selectivity of polymer composite sorbents toward specific classes of contaminants. Functionalization approaches introducing donor atoms such as nitrogen, sulfur, or phosphorus increase affinity toward heavy metal ions through coordination mechanisms, whereas incorporation of aromatic structures or polar functional groups may improve adsorption of organic pollutants and pharmaceutical residues. Nevertheless, excessive functionalization may disrupt intermolecular interactions responsible for formation of stable polymer networks. According to recent analyses of cellulose/chitosan-based composites, modification strategies should be carefully optimized to preserve supramolecular organization of polymer chains while enhancing interaction energy between sorbent and adsorbate [38].

Despite substantial progress achieved in recent years, several important limitations remain unresolved. Many studies still rely on batch adsorption experiments, which provide limited information about performance under dynamic flow conditions characteristic of industrial water treatment processes. In addition, comparison of adsorption capacities reported in the literature is complicated by differences in experimental parameters such as initial pollutant concentration,

contact time, temperature, and pH conditions. Consequently, identification of optimal material architectures remains challenging. Future research should therefore focus on development of predictive models linking molecular structure of polymer composites with adsorption performance, as well as on integration of experimental data with process-level analysis.

Overall, the current state of research indicates a transition from discovery of new compositions toward identification of fundamental principles governing adsorption behavior of polymer composite sorbents. Further progress will depend on interdisciplinary integration of polymer chemistry, materials science, and environmental engineering approaches, enabling development of functional materials combining high efficiency, structural stability, and technological feasibility for real water purification systems.

Conclusions and Future Directions. This manuscript highlights that recent progress in polymer composite sorbents is increasingly associated with rational design approaches that consider both chemical functionality and structural organization of polymer matrices. Cellulose- and chitosan-based composites remain among the most promising materials due to their availability, environmental safety, and the presence of reactive functional groups capable of interacting with various pollutants. However, current research demonstrates that adsorption efficiency depends not only on chemical composition but also on accessibility of active sites, pore architecture, and stability of the polymer network under operational conditions.

An important conclusion is that improvement of sorption properties requires a balance between structural stability and diffusion accessibility. Highly porous materials may provide increased surface area, but insufficient mechanical strength can limit their long-term performance. At the same time, excessive chemical modification may reduce structural flexibility of polymer matrices. Therefore, future material development should focus on optimization of structural parameters that ensure both stability and effective interaction with pollutants.

Recent studies also indicate that adsorption capacity alone is not sufficient to evaluate practical applicability of sorbents. Increasing attention is given to adsorption kinetics, regeneration ability, and performance in complex aqueous environments containing competing ions and organic impurities. These factors play a decisive role in determining the feasibility of applying polymer composite sorbents in real water treatment systems.

Future research should focus on improving reproducibility of polymer composite materials derived from natural raw sources, as variability in biomass composition may influence physicochemical properties of the final product. In addition, integration of experimental studies with theoretical modeling may contribute to prediction of adsorption behavior and more efficient design of functional materials.

Overall, polymer composite sorbents represent a promising platform for development of sustainable water purification technologies. Further progress will depend on interdisciplinary approaches combining polymer chemistry, materials science, and environmental engineering to create materials with controlled structure, high stability, and practical applicability.

References

1. Crini G., Lichtfouse E. Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment //Environmental chemistry letters. – 2019. – Vol. 17. – No.. 1. – P. 145-155.

2. 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.
3. Shannon M. A. et al. Science and technology for water purification in the coming decades //Nature. – 2008. – Vol. 452. – No.. 7185. – P. 301-310.
4. Arya A., Sharma A. L. Polymer nanocomposites: synthesis and characterization //Environmental Nanotechnology Volume 4. – Cham : Springer International Publishing, 2020. – P. 265-315.
5. Ray S. S., Okamoto M. Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing //Progress in polymer science. – 2003. – Vol. 28. – No.. 11. – P. 1539-1641.
6. Klemm D. et al. Nanocelluloses: a new family of nature-based materials //Angewandte Chemie International Edition. – 2011. – Vol. 50. – No.. 24. – P. 5438-5466.
7. Moon R. J. et al. Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites //Chemical society reviews. – 2011. – Vol. 40. – No.. 7. – P. 3941-3994.
8. Habibi Y., Lucia L. A., Rojas O. J. Cellulose nanocrystals: chemistry, self-assembly, and applications //Chemical reviews. – 2010. – Vol. 110. – No.. 6. – P. 3479-3500.
9. Klemm D. et al. Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material //Angewandte chemie international edition. – 2005. – Vol. 44. – No.. 22. – P. 3358-3393.
10. Rinaudo M. Chitin and chitosan: Properties and applications //Progress in polymer science. – 2006. – Vol. 31. – No.. 7. – P. 603-632.
11. Ngah W. S. W., Teong L. C., Hanafiah M. A. K. M. Adsorption of dyes and heavy metal ions by chitosan composites: A review //Carbohydrate polymers. – 2011. – Vol. 83. – No.. 4. – P. 1446-1456.
12. Khumalo N. et al. Comparative Study of Functionalized Cellulose Nanocrystal–Silica Aerogels for Methylene Blue Adsorption //Polymers. – 2025. – Vol. 17. – No.. 22. – P. 2983.
13. Hubbe M. A., Hasan S. H., Ducoste J. J. Cellulosic substrates for removal of pollutants from aqueous systems: A review. 1. Metals //BioResources. – 2011. – Vol. 6. – No.. 2. – P. 2161-2287.
14. Anastas P. T., Warner J. C. Green chemistry: theory and practice. – Oxford university press, 2000.
15. Varghese A. G., Paul S. A., Latha M. S. Cellulose based green adsorbents for pollutant removal from wastewater //Green Adsorbents for Pollutant Removal: Innovative materials. – 2018. – P. 127-157.
16. El Mahdaoui A. et al. Progress in the modification of cellulose-based adsorbents for the removal of toxic heavy metal ions //Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2024. – Vol. 12. – No.. 5. – P. 113870. https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.113870.
17. Meng P. et al. Cellulose-based materials in the treatment of wastewater containing heavy metal pollution: Recent advances in quantitative adsorption mechanisms //Industrial Crops and Products. – 2024. – Vol. 217. – P. 118825. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118825.
18. Yang X. et al. Preparation and characterization of cellulose-chitosan/β-FeOOH composite hydrogels for adsorption and photocatalytic degradation of methyl orange //International Journal of Biological Macromolecules. – 2024. – Vol. 274. – P. 133201. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133201.
19. Liu Q. et al. HKUST-1 modified ultrastability cellulose/chitosan composite aerogel for highly efficient removal of methylene blue //Carbohydrate Polymers. – 2021. – Vol. 255. – P. 117402. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117402.
20. Doyo A. N., Kumar R., Barakat M. A. Recent advances in cellulose, chitosan, and alginate based biopolymeric composites for adsorption of heavy metals from

wastewater //Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. – 2023. – Vol. 151. – P. 105095. https://doi.org/10.1016/j.jtice.2023.105095.
21. Bhatt P. et al. Developments and application of chitosan-based adsorbents for wastewater treatments //Environmental Research. – 2023. – Vol. 226. – P. 115530. https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115530.
22. Sun J. et al. A novel chitosan/cellulose phosphonate composite hydrogel for ultrafast and efficient removal of Pb (II) and Cu (II) from wastewater //Carbohydrate Polymers. – 2024. – Vol. 336. – P. 122104. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122104.
23. Zhang M. et al. Preparation and adsorption properties of magnetic chitosan/sludge biochar composites for removal of Cu2+ ions //Scientific Reports. – 2023. – Vol. 13. – No.. 1. – P. 20937.
24. Zhu Z. et al. Advancing magnetic chitosan-based materials for sustainable heavy metal removal from water: Synthesis, regeneration, and future perspectives //Separation and Purification Technology. – 2025. – Vol. 377. – P. 134166. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2025.134166.
25. Dambuza A. et al. Chitosan-based materials as effective materials to remove pollutants //Polymers. – 2025. – Vol. 17. – No.. 18. – P. 2447.
26. Qiu C. et al. High-efficient double-cross-linked biohybrid aerogel biosorbent prepared from waste bamboo paper and chitosan for wastewater purification //Journal of Cleaner Production. – 2022. – Vol. 338. – P. 130550.
27. Kurczewska J., Stachowiak M., Cegłowski M. Chitosan-based hydrogel beads with molecularly imprinted receptors on halloysite nanotubes for tetracycline separation in water and soil //Environmental Research. – 2024. – Vol. 262. – P. 119924.
28. Mirizadeh S., Converti A., Casazza A. A. Chitosan-based adsorbents for antibiotic removal with insights from batch and dynamic studies: A review //International Journal of Biological Macromolecules. – 2025. – P. 148399. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.148399.
29. Tan X. et al. Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions //Chemosphere. – 2015. – Vol. 125. – P. 70-85.
30. Crini G., Lichtfouse E. Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment //Environmental chemistry letters. – 2019. – Vol. 17. – No.. 1. – P. 145-155.
31. Zia Q. et al. A review on chitosan for the removal of heavy metals ions //Journal of Fiber and Bioengineering and Informatics. – 2019. – Vol. 12. – No.. 3. – P. 103-128.
32. Liu L. et al. Adsorption removal of dyes from single and binary solutions using a cellulose-based bioadsorbent //ACS Sustainable Chemistry & Engineering. – 2015. – Vol. 3. – No.. 3. – P. 432-442.
33. Hsu C. Y. et al. Adsorption of heavy metal ions use chitosan/graphene nanocomposites: A review study //Results in Chemistry. – 2024. – Vol. 7. – P. 101332.
34. Jain P., De A., Singh N. B. Cellulose-based materials for water purification //ChemistrySelect. – 2022. – Vol. 7. – No.. 24. – P. e202200121.
35. Nguyen T. A., Juang R. S. Treatment of waters and wastewaters containing sulfur dyes: A review //Chemical engineering journal. – 2013. – Vol. 219. – P. 109-117.
36. Alkhaldi H. et al. Sustainable polymeric adsorbents for adsorption-based water remediation and pathogen deactivation: a review //RSC advances. – 2024. – Vol. 14. – No.. 45. – P. 33143-33190.
37. Kolya H., Kang C. W. Recent advances in polymer nanocomposites for the adsorptive removal of toxic azo dyes from water //Discover Water. – 2025. – Vol. 5. – No.. 1. – P. 28.
38. Kumalo F. I. et al. Recent Developments in Cellulose/Chitosan Biopolymer Composites for Winery Wastewater Treatment and Reuse: A Review //Materials. – 2025. – Vol. 18. – No.. 21. – P. 5028.

Received: 11 March 2026
Accepted: 28 March 2026

R. Rajasekharan

Провиденс инженерлік колледжі, Керала, Үндістан

СОРБЦИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ БАР ПОЛИМЕРЛІ КОМПОЗИТТІК МАТЕРИАЛДАР: ҚҰРЫЛЫМЫ, МОДИФИКАЦИЯСЫ ЖӘНЕ ҚОЛДАНЫЛУЫ

Аннотация. Сорбциялық қасиеттері бар полимерлі композиттік материалдар қоршаған ортаны қорғау технологияларында, әсіресе су тазарту саласында қолданылуына байланысты үлкен ғылыми қызығушылық тудырады. Полимер химиясы мен материалтану саласындағы соңғы жетістіктер бақыланатын физика-химиялық сипаттамалары және жоғары адсорбциялық тиімділігі бар функционалды композиттерді алуға мүмкіндік берді. Целлюлоза мен хитозан негізіндегі материалдар биоыдырағыштығы, қолжетімділігі және әртүрлі ластаушылармен әрекеттесе алатын функционалдық топтарының болуына байланысты перспективалы болып табылады. Бұл шолуда полимерлі композиттік сорбенттерді синтездеу және модификациялау бағытындағы соңғы жетістіктер қарастырылып, құрылымдық ұйымдасу, функционалдық топтардың қолжетімділігі және адсорбциялық тиімділік арасындағы байланыс талданады. Ауыр металл иондары, бояғыштар және фармацевтикалық қосылыстарды жоюдағы кеуекті құрылым мен химиялық модификацияның рөлі көрсетіледі. Зерттеулер адсорбциялық тиімділік химиялық құраммен қатар, диффузиялық процестер мен полимер матрицасының тұрақтылығына тәуелді екенін дәлелдейді. Болашақ зерттеулер құрылым-қасиет байланысын терең талдауға, модельдеу әдістерін қолдануға және өндірістік масштабтауға бейім тиімді әрі экологиялық қауіпсіз сорбенттерді әзірлеуге бағытталады.

Түйін сөздер: полимерлі композиттік сорбенттер, целлюлоза, хитозан, адсорбция, суды тазарту.

R. Rajasekharan

Инженерный колледж Провиденс, штат Керала, Индия

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С СОРБЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ: СТРУКТУРА, МОДИФИКАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ

Аннотация. Полимерные композиционные материалы с сорбционными свойствами вызывают значительный научный интерес благодаря возможности их применения в экологических технологиях, особенно в процессах очистки воды. Современные достижения в области химии полимеров и материаловедения позволили создать функциональные композиты с контролируемыми физико-химическими характеристиками и повышенной адсорбционной эффективностью. Материалы на основе целлюлозы и хитозана считаются перспективными благодаря их биоразлагаемости, доступности и наличию функциональных групп, способных взаимодействовать с различными загрязнителями. В данном обзоре рассмотрены современные подходы к синтезу и модификации полимерных композиционных сорбентов, а также проанализирована взаимосвязь между структурной организацией, доступностью функциональных групп и эффективностью адсорбции. Показана роль пористой структуры и химической модификации в удалении ионов тяжелых металлов, красителей и фармацевтических соединений. Исследования подтверждают, что адсорбционная эффективность определяется не только химическим составом, но и структурными параметрами, влияющими на диффузионные процессы и устойчивость полимерной матрицы. Дальнейшие исследования направлены на углублённое изучение взаимосвязи структура–свойства, применение методов моделирования и разработку эффективных и экологически безопасных сорбентов, пригодных для масштабирования.

Ключевые слова: полимерные композитные сорбенты, целлюлоза, хитозан, адсорбция, очистка воды.

МРНТИ 61.35.29

Ә.З. Дархан[1] – *основной автор,*
А.А. Анарбаев[2]

[1]*Докторант,* [2]*Д-р. техн. наук, профессор*
[1]*https://orcid.org/0000-0002-3420-9465* [2]*https://orcid.org/0000-0002-0019-4381*
[1,2]*Южно-Казахстанский исследовательский университет им. М. Ауэзова,*
Шымкент, Казахстан
[1]*assel04.94@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/CCXK5815

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИКРОСИЛИКИ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМОГРАНИТА

Аннотация. Разработка керамогранита с улучшенными свойствами на основе местного сырья с использованием микросилики. Рассмотрена актуальность разработки эффективных технологий производства керамогранита в связи с потребностью керамической промышленности в инновационных материалах и ограниченностью ресурсов. Определена цель исследования: создание керамогранита с повышенными характеристиками на базе местного сырья Туркестанской области с применением микросилики – отхода кремниевого производства. Проведена оценка минерального сырья региона, изучено влияние температуры обжига (1050-1250°С) и дисперсности частиц на свойства материала, а также разработаны составы масс с различным содержанием микросилики. Установлено, что введение 2% микросилики и обжиг при 1250°С позволяют получить керамогранит, соответствующий стандарту ISO 13006: прочность при изгибе – 41,5 МПа, водопоглощение – 0,02%, морозостойкость – 107 циклов. Выявлена перспективность использования микросилики для развития отечественной керамической промышленности, расширения ассортимента конкурентоспособной продукции и утилизации техногенных отходов.

Ключевые слова: микросилика, керамогранит, морозостойкость, водопоглощение, прочность при изгибе, температура спекания.

Дархан, Ә.З. Исследование влияния микросилики на фазовый состав и физико-механические свойства керамогранита [Текст] / Ә.З. Дархан, А.А. Анарбаев //Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №1(91). – С.405-417. https://doi.org/10.55956/CCXK5815

Введение. Получение высококачественных и прочных керамических материалов, в частности керамогранита на основе местного природного минерального сырья, является актуальной научной и практической задачей. Прочность и долговечность данного материала в значительной степени определяются повышенными показателями сопротивления сжатию и морозостойкости. Особый интерес представляет керамогранит, включающий кварц, полевой шпат и каолин, обладающий уникальным сочетанием высокой механической прочности и химической стойкости. Его микроструктура,

характеризующаяся наличием крупных зерен кварца, кристаллов муллита и аморфной силикатной фазы, предопределяет совокупность эксплуатационных свойств.

В настоящее время для облицовки полов и стен широко применяются различные материалы: природные декоративные камни (гранит, мрамор, сланец и др.) [1]; кварцево-смолистые композиты, известные как инженерный или агломерированный камень [2,3]; керамика, керамогранит и фарфор [4,5]; твердые композиты на основе тригидроксида алюминия [6,7]; бетон и древесина [8]. Ключевыми требованиями к таким материалам являются устойчивость к воздействию тепла, влаги, пятен, механическим повреждениям и простота обслуживания [9]. Совокупность этих требований, наряду с высокой долговечностью и эстетичностью, обусловила использование жестких материалов (гранита, инженерного камня, керамогранита) в наиболее ответственных сферах применения, включая не только столешницы, но и навесные фасадные панели, интерьерные и экстерьерные покрытия, а также мебельные элементы [9,10].

Интенсивное развитие керамической промышленности привело к значительному росту потребления глинистого сырья, что вызвало проблему его чрезмерной эксплуатации и негативного воздействия на окружающую среду. Так, производство керамической плитки требует большого количества флюсов (до 50–60 % по массе). В этой связи особую значимость приобретает переработка и повторное использование промышленных побочных продуктов (метакаолина, золы, кремнезема), обладающих благоприятным соотношением оксидов кремния и алюминия, что делает их перспективным сырьем для керамики. Таким образом, у керамической промышленности имеются широкие возможности для устойчивого использования промышленных отходов в качестве альтернативного сырья.

Процесс получения керамогранита включает несколько стадий, для которых традиционно применяются туннельные роликовые печи с зонами сушки, предварительного нагрева, обжига, быстрого и медленного охлаждения, а также конечного охлаждения [11,12]. Однако на стадии обжига возможно формирование дефектов, таких как наколы и кратеры. Согласно литературным данным [13], при спекании в присутствии жидкой фазы углеродсодержащие материалы на высоких температурах проявляют восстановительные свойства. Уже при 700°C начинается образование новых кристаллических фаз на основе SiO_2, силикатов и алюмосиликатов. При дальнейшем нагреве до 800–950°C происходит разложение карбонатов и доломита с выделением CO_2, а также термическое разложение сульфатов и фторидов. При достижении 1150–1200°C благодаря присутствию полевых шпатов, богатых щелочными элементами, формируется жидкая фаза, которая заполняет поры, растворяет оксиды глинистых минералов и вызывает усадку и уплотнение массы.

Среди породообразующих минералов земной коры особую роль играют полевые шпаты, каолин (состоящий преимущественно из каолинита $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$) [12], а также кварц - один из наиболее распространенных минералов магматических пород [13]. Значимым минералом является муллит ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), образующийся при термическом разложении каолинита выше 950°C [14]. Он является основным кристаллическим компонентом синтетического керамогранита. Примеси оксидов железа, вступая во взаимодействие с другими оксидами, придают керамограниту цветовые оттенки от розового до коричневого [15].

В результате высокотемпературного обжига часть кварца сохраняется в неизменном состоянии, в то время как метакаолинит, образующийся при дегидратации каолинита, трансформируется в муллит ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) [16]. Одновременно происходят и другие фазовые превращения, определяющие окончательный состав керамического изделия [17]. Недостаток оксида алюминия в сырьевой смеси может приводить к образованию несвязанного аморфного SiO_2. Для увеличения выхода муллита в состав массы вводят дополнительное количество Al_2O_3. Реакции в температурном интервале 25–1200°C способствуют формированию муллита, придающего керамограниту такие свойства, как высокая прочность, твердость, термостойкость и износостойкость [18-25].

Вместе с тем, до настоящего времени недостаточно изучено влияние микросилики – побочного продукта кремниевого производства - на свойства керамогранита. Оптимизация технологического процесса с использованием микросилики в качестве кремнийсодержащего компонента позволяет формировать благоприятный фазовый состав и микроструктуру, обеспечивая повышение прочности и твердости материала. Полученные результаты подтверждают перспективность применения микросилики в производстве высококачественных керамических изделий, а также ее значимость для развития экологически ориентированных технологий.

Условия и методы исследований. Для проведения исследования порошковые смеси гомогенизировались во влажном состоянии в лабораторной мельнице в течение 30 минут с целью обеспечения равномерного распределения частиц. Полученная суспензия подвергалась сушке при температуре 90°C в течение 2 часов, после чего прессовалась в прямоугольные формы под давлением 5 МПа. Сформованные образцы размером 8,5×4,2×1,6 см дополнительно сушили при 110°C в течение 48 часов.

Высушенные керамические образцы спекались при температурах 1100, 1150, 1200°C и 1200°C с нагревом 6°C/мин и выдержкой 45 минут в трубчатой печи Carbolite (MF03-3.13). После обжига образцы охлаждались естественным образом до комнатной температуры, что обеспечивало стабильность структуры перед определением физико-механических характеристик.

Физические свойства (водопоглощение, видимая пористость и объемная плотность) определялись в соответствии со стандартом ASTM-373-88. Для этого образцы выдерживались в кипящей дистиллированной воде в течение 5 часов. Механические свойства (прочность при изгибе и сжатии) исследовались по методике ASTM-C67. Изгибная прочность определялась методом трёхточечного изгиба с использованием универсальной испытательной машины. Нагрузка прикладывалась одноосно до разрушения образцов, при этом скорость нагружения варьировалась от 0,001 до 1 МПа/с.

Технологический процесс производства керамогранита включал прессование подготовленной массы на гидравлических прессах с последующим обжигом в роликовых печах. Обжиг являлся завершающей стадией технологического цикла и определял формирование конечных свойств материала. Благодаря более высокой гомогенности химического и минералогического состава по сравнению с природным гранитом, а также особенностям технологии обжига, полученный материал характеризовался водопоглощением менее 0,5% и пределом прочности на изгиб не менее 35 Н/мм², что соответствует требованиям стандарта EN 14411:2009.

При термообработке происходила трансформация исходных сырьевых компонентов в новые кристаллические и аморфные фазы, что обеспечивало формирование прочности, твёрдости, низкой пористости, минимального водопоглощения и химической стойкости материала. Процесс обжига представлял собой контролируемый нагрев изделий в печи с последующей термодинамической стабилизацией структуры.

Химический и фазовый состав исходного сырья исследовался с использованием растрового электронного микроскопа JSM-6490LV, оснащённого системой энергодисперсионного микроанализа INCA Energy-350 и модулем анализа структуры поликристаллических образцов HKL Basic. Дополнительно применялись методы рентгенофазового анализа (РФА) на приборе ДРОН-3.

Керамическая масса для синтеза керамогранита включала каолиновую и беложгущуюся глины, каолин, полевой шпат и кремнийсодержащий компонент – микрокремнезём (микросилика). Соотношение компонентов (мас. %) составляло: каолиновая глина – 32-34; каолин – 24-26; полевой шпат – 23-25; беложгущаяся глина – 5-17; микрокремнезём – 1-4 [26,27]. Особое внимание уделялось влиянию плавня (полевого шпата) и микрокремнезёма, полученного из отходов ТОО «Тау-кен темір», на процессы спекания и фазообразования, а также зависимости кинетики реакций при обжиге от гранулометрического состава исследуемых масс.

Для изучения влияние содержание микросилики на получение керамогранита подготовлен сырьевой состав керамогранитной массы и представлен в таблице 1.

Таблица 1

Сырьевой состав керамогранитной массы

Компонент	Содержание мас.%			
	№1	№2	№3	№4
Глины Б-1	16	16	16	16
Глины НК-5	24	24	24	24
Полевые шпаты	33	33	33	33
Каолины	26	25	24	23
Микрокремнезем	1	2	3	4
Всего, %	100	100	100	100

Из таблиц 1 видно, что основным компонентом сырьвых смесей являются полевой шпат, каолин и глина. Микрокремнезем в компоненте составляет 1-3%.

Все исходные материалы подвергались отдельному измельчению в лабораторной шаровой мельнице сухим способом в течение 16 ч, после чего просеивались через контрольные сита с размерами ячеек 0,224; 0,125; 0,08; 0,063 и 0,04 мм. Дозирование компонентов осуществлялось с использованием технических весов Т-200. Были опробованы различные составы керамических масс, включающие четыре варианта смесей на основе полевого шпата, каолина и глин с добавлением микрокремнезема.

Для исследования свойств получаемых материалов изготавливались образцы размером 60×30×5 мм методом полусухого прессования при влажности порошков 8-11%. Для обеспечения равномерного распределения влаги пресс-порошок гранулировали путем протирания через сито № 1,0 и выдерживали в эксикаторе в течение 24 ч. Формование образцов проводилось

на лабораторном гидравлическом прессе при давлении 400 МПа. Высушивание осуществлялось в сушильном шкафу при 110°С, после чего образцы подвергались обжигу в высокотемпературной электропечи LHT 02/16 в диапазоне температур 1100-1300°С.

Результаты исследований. Изучены физико-химические свойства полученных при температуре 1100-1300°С образцы керамогранита, результаты которого показаны на рисунках 1-3.

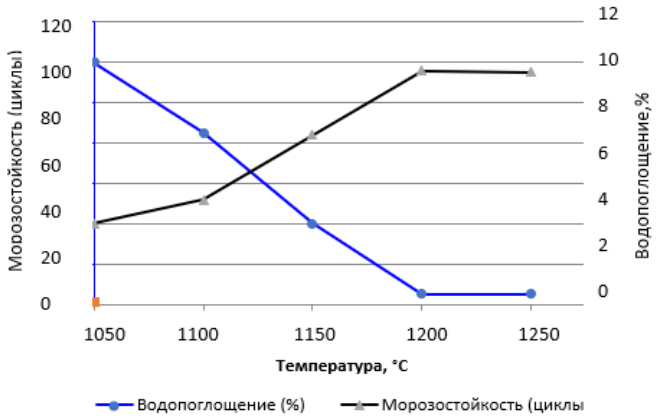


Рис. 1. Зависимость изменение физико-механических свойств керамогранитных образцов от температуры обжига

Из рисунка 1 видно, что с повышением температуры обжига керамогранитного образца от 1050°С до 1250°С водопоглощение уменьшается от 10% до 0,02%. Одновременно морозостойкость увеличивается от 40 циклов до 107 циклов. Результаты изменение прочности изгиба керамогранитных образцов от температуры показаны на рисунке 2.

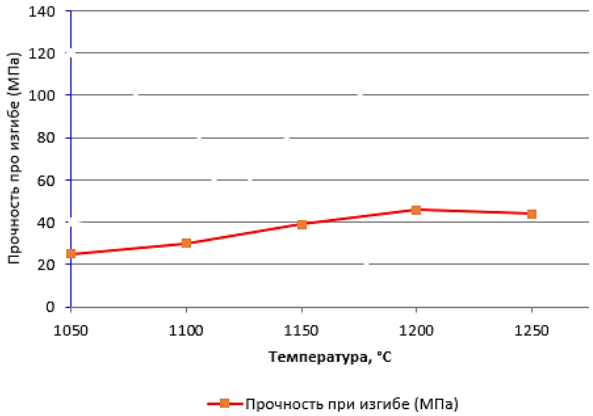


Рис.2. Зависимость изменение прочности изгиба керамогранитных образцов от температуры

Из рисунка 2 видно, что выше температура обжига образца, тем выше прочность изгиба полученного керамогранита. При температуре 1050°С прочность составляет 24,8 Мпа, а с повышением температуры 1250°С прочность изгиба керамогранита достигается до 41,5 МПа.

Снижение прочности изгиба керамогранита возможно связано со степенью образования муллита ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) в образце. На рисунке 3 показаны зависимость образования муллита от температуры обжига при различном содержаний микросилика в смеси образца.

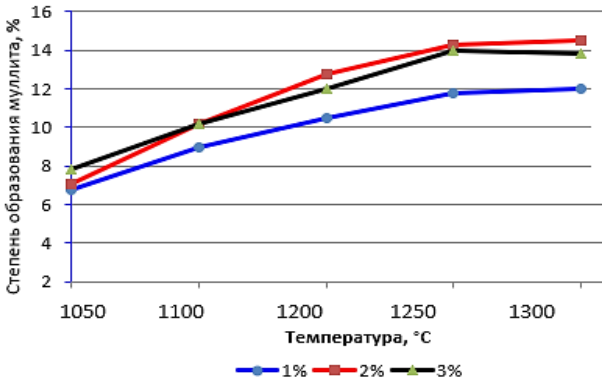
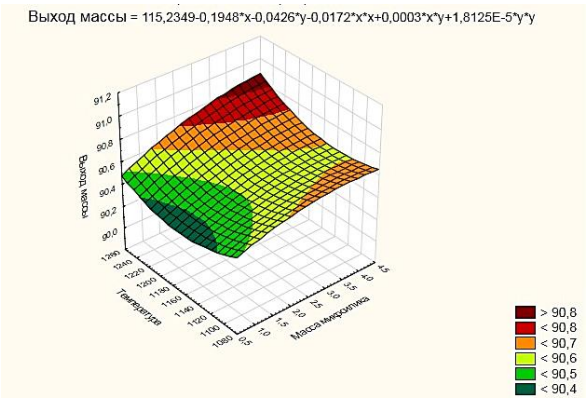


Рис.3. Степень образования муллита ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) в зависимости от температуры обжига и содержание микросилика (1, 2, 3%)

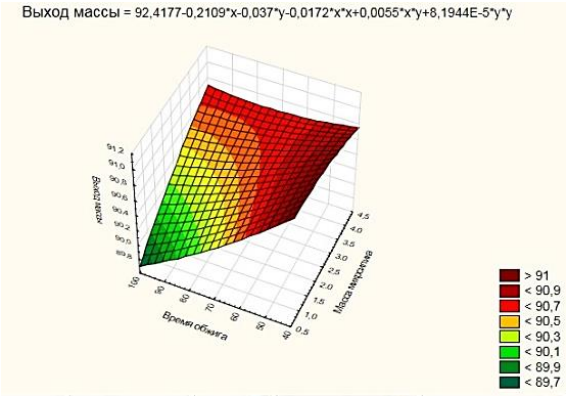
Из рисунка 3 видно, что с изменением содержание микросилика в смеси и с повышением температуры обжига образца степень образования муллита повышается. Содержание в смеси микросилики 1% и температуре 1050°С степень образования муллита составляет 6,9%. Дальнейшее повышение температуры не виляет на степень образования муллита. С повышением температуры до 1250°С степень образования муллита достигается до 11,9%. При содержании микросилики 2% и температуре 1050°С степень образования муллита в образце составляет 7,2%, а при 1250°С составляет 14,3%. При содержании микросилики 3% и температуре 1050°С степень образования муллита в образце составляет 7,8%, а при 1250°С составляет 14,0%. Повышение температуры до 1300°С степень образования муллита составляет 14,1%. Таким образом, оптимальной температуры обжига образца является 1250°С, содержание микросилики 2% и степень образования муллита 14,3%. Дальнейшее повышение температуры до 1300°С и с увеличением содержание микросилики до 3% не влияет на степень образования муллита.

Оптимизация параметров процесса для получения керамогранита в различных составах смеси проведены по программам Statistika-10 и были построены графики зависимости выхода керамогранита от температуры процесса обжига. На риснуке 4 (а) и (в) показаны трехмерные изображение поверхности функции степени выхода керамогранита от температуры обжига и времени от изменения массы микросилики. Температура и время визуального определоения параметров, при которых достигаются различные значения величины степени выхода массы показаны в разном цвете.

Из рисунка 4 (а) видно, что на трехмерной поверхности графика (обозначенный красной полосой) находятся наивысшие степени выхода массы керамогранита, более 90,8%. Наивысшая степень выхода массы наблюдается при температуре 1250°С (а) и продолжительности процесса 60 минут, где степень выхода массы достигает 91,0%.



а



в

Рис. 4. Трехмерные изображение поверхности функции степени выхода керамогранита от температуры обжига(а) и времени (в) от изменения массы микросилики

Рентгенофазовый анализ готовых образцов, проводившийся на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3 показаны на рисунке 5. Изучение полученного образца методом РФА показывают, что на рентгенограмме (рис. 5) синтезированного керамогранита интенсивность (d/n =5.41049, 3,34996 A°) соответствуют на муллит ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) и интенсивность (d/n =4.26383; 3.34998; 2.13111; 1.81733 A°) на кварц (SiO_2).

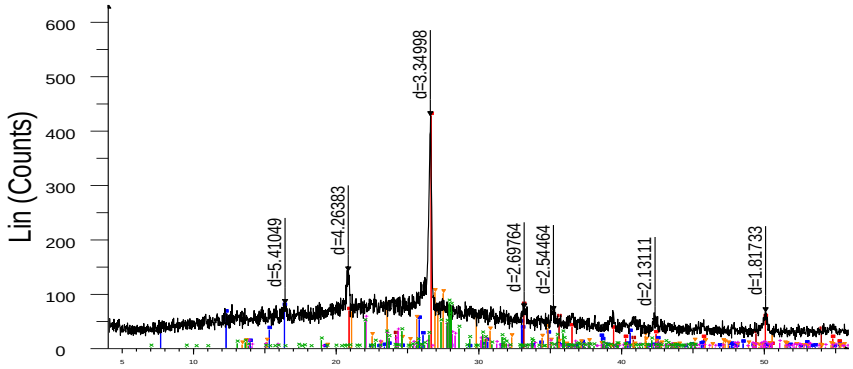
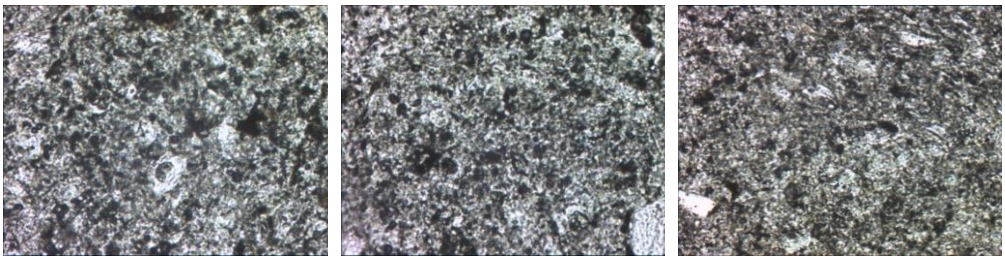


Рис. 5. Рентгенограмма керамогранита, полученного на основе микрокремнезема (образец М-1)

В результате исследований физико-химических процессов, сопровождающихся образованием новых минеральных и жидких фаз, найдена возможность использования микрокремнезема в качестве кремнийсодержащего сырья. Образцы имеют (рис. 6) довольно плотную структуру.



а в с

а – масса с добавкой 1% микрокремнезема; в – масса с добавкой 2% микрокремнезема; в – масса с добавкой 3% микрокремнезема.

Рис.6. Микроструктура керамогранита, полученного на основе микрокремнезема

Микроструктурный анализ образцов керамогранита (рис. 6) выявил наличие четко дифференцируемых реликтов полевого шпата, представленных стеклофазой и муллитом. В образце (a) наблюдается более пористая структура, тогда как образец (b) характеризуется повышенной плотностью за счет увеличенного содержания кристаллов муллита и стеклофазы. Зерна кварца окружены ободками высококремнеземистого стекла и поровыми включениями различной морфологии и размеров. Выявлены муллитовые области, соответствующие исходным частицам полевого шпата, а также неполностью разложившиеся массивы глинистых компонентов [28-33]. Наиболее оптимальные структурные характеристики зафиксированы в образце (c), который отличается высокой плотностью, однородностью микроструктуры и минимальным количеством пор. Равномерное распределение кристаллов муллита и увеличенное содержание стеклофазы обеспечивают упрочнение материала и способствуют улучшению его эксплуатационных свойств. Четко очерченные границы кварцевых зерен, окружённых стеклофазой, свидетельствуют о более интенсивных реакциях взаимодействия компонентов шихты в процессе обжига.

Разработанный состав керамогранитной массы, полученный путем анализа кривых плавкости на диаграммах состояний, исследованиями физико-химических и структурных превращений в многокомпонентных системах при обжиге и по результатам технологических экспериментов, приведен в таблице 2.

Таблица 2

Физико-механические свойства образцов керамогранита

Показатели	Физико-механические свойства образцов			
	М-1	М-2	М-3	М-4
1	2	3	4	5
Огневая усадка, %	9,16	11,12	11,02	10,36
Механическая прочность, (изг.), МПА	40,4	41,5	40,8	40,6

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
Водопоглощение, %	0,029	0,023	0,025	0,026
Морозостойкость, n цикла не менее	104	107	106	105
Износостойкость, г/см^3, не более	0,18	0,17	0,18	0,19

Анализ данных, представленных в таблице 9, показал, что среди исследованных составов керамогранитных масс наилучшие физико-механические характеристики продемонстрировал образец М-2. Экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что введение микросилики способствует повышению прочности при изгибе до 41,5 МПа (выше нормативного значения), снижению водопоглощения до 0,023%, увеличению морозостойкости до 107 циклов, а также росту усадки до 11,12%.

Применение микросилики в качестве кремнеземного компонента в шихте керамогранита оказало положительное влияние, обеспечив улучшение комплекса эксплуатационных свойств синтезированного материала. На основании полученных данных оптимальным был признан состав М-1. Установлено, что дисперсная структура микросилики повышает связность керамической массы, что благоприятно сказывается на прочности и долговечности керамогранита. Такой подход открывает перспективы для создания строительных материалов нового поколения на основе техногенных отходов.

Микроструктурный анализ выявил наличие реликтов полевого шпата, представленных стеклофазой и кристаллами муллита. Зерна кварца окружены ободками высококремнеземистого стекла и порами различной формы и размеров. Микрофотографии излома демонстрируют структурно-стекловидную матрицу с равномерно распределёнными субмикроскопическими кристаллами муллита. Чётко идентифицированы муллитовые области, образовавшиеся на месте исходных частиц полевого шпата, а также фрагменты глинистых минералов, не подвергшихся полному разложению.

Обсуждение результатов исследований. Результаты проведённых экспериментов показали, что введение микросилики в состав керамогранитных масс оказывает комплексное влияние на свойства синтезируемого материала. В частности, варьирование содержания микрокремнезема в пределах 2-3% при температуре обжига 1200-1250°С позволило получить образцы с оптимальными физико-механическими характеристиками.

Из выше приведенных данных таблиц следует, что образец М-2 продемонстрировал наилучшие показатели: прочность при изгибе составила 41,5 МПа, что выше нормативного значения (35 МПа по EN 14411-2009). В то же время водопоглощение было снижено до 0,02%**,** а морозостойкость достигла 107 циклов, что существенно превышает показатели контрольных составов без микросилики. Отмеченное повышение усадки до 11,12% связано с более интенсивным протеканием процессов спекания, обусловленных активной реакционной способностью кремнезема.

Сравнение полученных данных с результатами других исследований показывает высокую согласованность. Так, по данным Sánchez et al. [7], оптимизация состава фарфоровых плиток также обеспечивала снижение водопоглощения ниже 0,1% и рост механической прочности. Romero и Pérez [18] указывают на ключевую роль дисперсных добавок в формировании

плотной микроструктуры с низкой пористостью, что совпадает с результатами настоящей работы. Аналогичные тенденции отмечены Martín-Márquez et al. [16], где образование муллита при обжиге способствовало упрочнению керамической матрицы.

Микроструктурный анализ полученных образцов выявил формирование стекловидной матрицы с равномерно распределёнными субмикроскопическими кристаллами муллита, а также ободки высококремнеземистого стекла вокруг зерен кварца. Это подтверждает активное участие микросилики в реакциях спекания и коррелирует с данными Е.В. Баяндина [11], где также отмечалось улучшение свойств керамогранита за счёт образования новых фаз.

Таким образом, использование микросилики в составе керамогранитных масс обеспечивает: рост прочности при изгибе до 41,5 МПа; снижение водопоглощения до 0,02%**;** повышение морозостойкости до 107 циклов; улучшение плотности и связности керамической структуры.

Эти результаты подтверждают перспективность применения микросилики как эффективной техногенной добавки, обеспечивающей не только улучшение эксплуатационных свойств керамогранита, но и решение экологических задач утилизации отходов кремниевого производства.

Заключение. В настоящем исследовании рассмотрено влияние введения микрокремнезема на фазовый состав и физико-механические свойства керамогранита. Микрокремнезем, выступающий в качестве активной кремнеземсодержащей добавки, вводился в шихту с целью повышения эксплуатационных характеристик конечного материала.

Были разработаны керамические массы различного состава с варьированием содержания микрокремнезема при фиксированном соотношении каолина, полевого шпата и беложгущейся глины. Образцы подвергались обжигу при температуре 1200-1300°С. Для анализа фазового состава и микроструктуры использовались методы рентгеновской дифрактометрии и сканирующей электронной микроскопии.

Оптимизация параметров процесса показала, что выход керамогранита достигает 91,0% при варьировании температуры обжига и 90,8% при изменении содержания микросилики. Установлено, что добавка микрокремнезема способствует увеличению прочности при изгибе до 41,5 МПа (что превышает нормативные требования), снижению водопоглощения до 0,02%, повышению морозостойкости до 107 циклов, а также росту линейной усадки до 11,12 %.

Результаты исследования показали, что введение микрокремнезема в качестве кремнеземного компонента обеспечивает возможность целенаправленного регулирования фазового состава и структуры керамогранита, что приводит к существенному улучшению его эксплуатационных свойств. Полученные данные открывают перспективы разработки новых высокоэффективных керамических материалов с использованием техногенного сырья.

Список литературы

1. Amaral P.M., Fernandes J.C., Pires V., Rosa L.G. Ornamental stones // Materials for Construction and Civil Engineering: Science, Processing, and Design. – 2015. – P. 397-445.

2. Suta S., Wattanasiriwech S., Wattanasiriwech D., Duangphet S., Thanomsilp C. Preparation of engineered stones // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. – 2019. – Vol. 600. – No. 1. – P. 12009.
3. Bustillo Revuelta M. Agglomerated Stone // Construction Materials: Geology, Production and Applications. – 2021. – P. 91-102.
4. Sanchez E., García-Ten J., Sanz V., Moreno A. Porcelain tile: almost 30 years of steady scientific-technological evolution // Ceram. Int. – 2010. – Vol. 36. – No. 3. – P. 831-845.
5. Raimondo M., Dondi M., Zanelli C., Guarini G., Gozzi A., Marani F., Fossa L. Processing and properties of large-sized ceramic slabs // Bol. Soc. Espanola Ceram. Vidr. – 2010. – Vol. 49. – No. 4. – P. 289-296.
6. Vovk M., Planinšek O., German Ilić I., Sernek M. Characterization of industrial aluminum trihydrate-filled poly(methyl methacrylate) composite powder // J. Adhes. Sci. Technol. – 2019. – Vol. 33. – No. 23. – P. 2517-2534.
7. Seguin A.A., Lizano K.L., Sánchez J.R., Sullcahuamán J.A. Solid Surface Composite Materials Manufactured from Syrup of Polymethyl Methacrylate, Alumina Trihydrate and Natural Mineral Fillers // Matéria. – Rio de Janeiro, 2020. – P. 25.
8. Gibson S. Choosing kitchen countertops // Fine Homebuilding. – 2002. – P. 44–51.
9. Cheever E. Kitchen & Bath Products and Materials: Cabinetry, Equipment, Surfaces. – John Wiley & Sons, 2014.
10. Parrott K.R., Beamish J.O. Kitchen and bathroom design // Introduction to Housing. – Vol. 3. – University of Georgia Press, 2018. – P. 43-63.
11. Bayandina E.V., Zykova Yu.A., Safonova T.V. Issledovanie keramogranitnykh mass s pomoshch'yu termicheskogo analiza [Research of porcelain stoneware masses by thermal analysis] // Bulletin of Irkutsk technical university. – 2011. – No. 3 (50). – P. 77-81. [in Russian].
12. Moshnya kova M.G., Orlova T.A. Issledovanie osobennostey obzhiga keramicheskogo granita iz eksperimental'noy massy s chastichnoy zamenoy importnykh glin na otechestvennye [Study of firing features of ceramic granite from experimental mass with partial substitution of imported clays by domestic ones] // Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'. – 2017. – Vol. 7, No. 3 (22). – P. 95-106. [in Russian].
13. Vdovina E.V., Abdrahimova E.S., Abdrahimov V.Z. Opredelenie chernoy serdtseviny pri obzhige kirpicha iz beydellitovoy gliny i produkta sgoraniya bazaltovoy shikhty [Determination of black core during firing of brick from beidellite clay and basalt batch combustion product] // Bashkir chemichal journal. – 2007. – Vol. 14, No. 2. – P. 102-104. [in Russian].
14. Ceramic and glass materials: Structure, properties and processing / ed. J.F. Shakelford, R.H. Poremus. – New York: Springer, 2008. – 201 p. – DOI 10.1007/978-0-387-73362-3
15. Dodd A.E. Dictionary of ceramics. – 3rd ed., revised and updated by D. Murfin. – The Institute of Materials, 1994. – 369 p.
16. Martín-Márquez J., Rincón J.M., Romero M. Mullite development on firing in porcelain stoneware bodies // Journal of the European Ceramic Society. – 2010. – Vol. 30. – No. 7. – P. 1599–1607.
17. Pavlov V.F. Fiziko-khimicheskie osnovy obzhiga izdeliy iz stroitel'noy keramiki [Physico-chemical fundamentals of firing building ceramics]. – M.: Stroyizdat, 1977. – 240 p. [in Russian].
18. Romero M., Pérez J.M. Relation between the microstructure and technological properties of porcelain stoneware: A review // Materiales de Construcción. – 2015. – Vol. 65, Issue 320. – e065. – ISSN-L 0465-2746. – DOI: 10.3989/mc.2015.05915
19. Betekhtin A.G. Kurs mineralogii [Course of mineralogy]. – Russia, 2008. [in Russian].
20. Adyrbaev B.O. O roli polevykh shpatov v sostave mass keramogranita [On the role of feldspars in the composition of porcelain stoneware masses] / B.O. Adyrbaev //

Nauchnye trudy YUKGU im. M. Auezova. – 2017. – No. 4 (44). – P. 131-135. [in Russian].
21. Adyrbaev B.O., Darkhan A.Z., Yessimov B.O., Adyrbaeva T.A., Dubinina E.S. Synthesis of ceramic granite based on domestic feldspar raw materials // Izvestiya NAN RK. Seriya geologii i tekhnicheskikh nauk [Proceedings of the NAS of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences]. – 2024. – № 6. – C. 6-18.
22. Yessimov B.O., Adyrbayev B.O., Kalmat Zh.T., Aldaberganov S.K. Mineral-Primary Import Substitution in Ceramic Granite Production // V International Scientific-Practical Conference «Integration of the Scientific Community to the Global Challenges of Our Time». – Tokyo, Japan, 2020. – P. 355–360.
23. Lewicka E., Wyszomirski P. Polish feldspar raw materials for the domestic ceramic tile industry – current state and prospects // Materialy Ceramiczne. – 2010. – № 4 (62). – P. 582–585.
24. Kulinich V.V., Sagunov V.G., Ushkenov B.S., Gulyaeva N.Ya., Beyseev O.B., Vedernikov N.N., Antonenko A.A., Bayakunova S.Ya. Mestorozhdeniya gornorudnogo syr'ya Kazakhstana [Deposits of mineral raw materials of Kazakhstan]. – Almaty, 2000. – Vol. 1. – 372 p. [in Russian].
25. Sanchez E. Porcelain tile microstructure: implications for polished tile properties // Journal of the European Ceramic Society. – 2006. – Vol. 26. – P. 2533–2540.
26. Nori A.D. Jr., Hotza D., Soler V.C., Vilches E.S. Influence of composition on mechanical behavior of porcelain tile. Part 1: Microstructural characterization and developed phases after firing // Materials Science and Engineering: A. – 2010. – Vol. 527. – No. 7. – P. 1730–1735.
27. Tereshchenko I.M., Pun'ko G.M., Serikova L.V. Optimizatsiya sostavov keramicheskikh granitov [Optimization of ceramic granite compositions] / I.M. Tereshchenko et al. // Steklo i keramika. – 2000. – No. 12. – P. 31-33. [in Russian].
28. Patent No. 36983. Keramicheskaya massa dlya izgotovleniya keramogranita [Ceramic mass for porcelain stoneware production] / Darkhan A.Z., Yessimov B.O., Anarbaev A.A., Adyrbaev B.O., Zobnin N.N. – Application No. 2023/0160.1 dated 06.03.2023. [in Russian].
29. Baucia J.A., Koshimizu Jr.L., Giberton C., Morelli M.R. Estudo de fundentes alternativos para uso em formulações de porcelanato // Cerâmica. – 2010. – № 56. – P. 262–272.
30. Borkoev B.M. Study of the structure and properties of low-temperature firing porcelain // Mezhdunarodnyi zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya. – 2012. – № 6. – P. 98–100. (In Russian)
31. Zubekhin A.P., Verchenko A.V., Galenko A.A. Manufacture of ceramic granite based on zeolite-containing batches // Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]. – 2014. – № 4. – P. 52–54. (In Russian)
32. Brykov A.S. Khimiya silikatnykh i kremnezemsoderzhashchikh vyazhushchikh materialov. – Saint-Petersburg: SPbGTI(TU), 2011. – 147 p.
33. Ryshchenko M.I., Shchukina L.P., Fedorenko E.Yu., Firsov K.N. The possibility of ceramogranite production from quartz-feldspar raw of Ukraine // Steklo i keramika. – 2008. – Vol. 81. – No. 1.

Материал поступил в редакцию 13.10.25, принят 17.02.26.

Ә.З. Дархан[1], А.А. Анарбаев[1]

[1]М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті, Шымкент, Қазақстан

МИКРОСИЛИКАНЫҢ КЕРАМОГРАНИТТІҢ ФАЗАЛЫҚ ҚҰРАМЫ МЕН ФИЗИКА-МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Микросиликаны қолдана отырып, жергілікті шикізат негізіндегі жақсартылған қасиеттері бар керамогранитті әзірлеу. Керамика өнеркәсібінің инновациялық материалдарға қажеттілігіне және ресурстардың шектеулігіне байланысты керамогранит өндірісінің тиімді технологияларын әзірлеудің өзектілігі қарастырылған. Зерттеу мақсаты анықталған: кремний өндірісінің қалдығы болып табылатын микрокремнийді қолдана отырып, Түркістан облысының жергілікті шикізаты негізінде жоғары сипаттамалары бар керамогранит жасау. Өңірдің минералдық шикізатына баға берілген, күйдіру температурасының (1050−1250°C) мен бөлшектердің дисперстігінің материал қасиеттеріне әсері зерттелген, сондай-ақ микрокремнийдің әртүрлі мөлшері бар массалардың құрамдары әзірленген. 2% микрокремний енгізу және 1250°C температурада күйдіру ISO 13006 стандартына сәйкес келетін керамогранит алуды қамтамасыз ететіні анықталған: иілуге беріктігі – 41,5 МПа, су сіңіруі – 0,02%, аязға төзімділігі – 107 цикл. Микрокремнийді отандық керамика өнеркәсібін дамыту, бәсекеге қабілетті өнім түрлерін кеңейту және техногендік қалдықтарды кәдеге жарату үшін пайдаланудың перспективасы көрсетілген.

Тірек сөздер: микросилика, керамогранит, аязға төзімділік, су сіңіргіштік, иілу беріктігі, күйдіру температурасы.

A.Z. Darkhan[1], A.A. Anarbayev[1]

[1]M. Auezov South Kazakhstan university, Shymkent, Kazakhstan

EFFECT OF MICROSILICA ON THE PHASE COMPOSITION AND PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF PORCELAIN STONEWARE

Abstract. Development of Porcelain Stoneware with Improved Properties Based on Local Raw Materials Using Microsilica. The relevance of developing effective technologies for the production of porcelain stoneware due to the ceramic industry’s need for innovative materials and resource constraints is considered. The aim of the study is defined: to create porcelain stoneware with enhanced characteristics based on local raw materials from the Turkestan region using microsilica – a silicon production waste. An assessment of the region’s mineral raw materials was carried out, the influence of firing temperature (1050−1250°C) and particle dispersity on the material's properties was studied, and compositions of masses with varying microsilica content were developed. It is established that the introduction of 2% microsilica and firing at 1250°C allow for obtaining porcelain stoneware compliant with the ISO 13006 standard: flexural strength – 41.5 MPa, water absorption – 0.02%, frost resistance – 107 cycles. The prospects of using microsilica for the development of the domestic ceramic industry, expansion of the range of competitive products, and utilization of industrial waste are revealed.

Keywords: microsilica, porcelain stoneware, frost resistance, water absorption, flexural strength, sintering temperatur.

IRSTI 61.53.13 : 61.13.17

A. Auyeszhanova[1] – *main author*,
M. Yerekenova[2], N. Sultanbayev[3],
A. Borsikbayeva[4], N. Bissakhan[5]

©

[1,2,3]Bachelor student, [4]PhD student, Senior lecturer, [5]Master student

ORCID

[1]https://orcid.or/0009-0005-9143-3155 [2]https://orcid.org/0009-0005-9610-3948
[3]https://orcid.org/0009-0006-8904-5345 [4]https://orcid.org/0009-0000-1039-8137
[5]https://orcid.org/0009-0007-0140-6239

[1,2,3,4]Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan
[5]Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan

@ *[1]ayesjan00@gmail.com*

https://doi.org/10.55956/BJPQ8611

NUMERICAL MODELING OF THE COMBUSTION PROCESS IN A FIXED BED OF COAL BASED ON EXPERIMENTAL STUDIES

Abstract. This study developed a mathematical model of solid coal combustion in long-burning boilers and analyzed the influence of chemical reactions and heat transfer processes. The model is based on Reynolds-averaged Navier-Stokes equations (RANS), closed using a k-ε realizable turbulence model. The dynamics of coal particles are described using a discrete phase model (DPM). A numerical simulation of the combustion process was performed, followed by a comparison of the calculated data with experimental results. The study shows a good agreement between temperature fields and the main flow parameters obtained numerically and experimentally. The conducted validation confirms the reliability and accuracy of the developed mathematical model.

Keywords: coal combustion, numerical simulation, Computational Fluid Dynamics (CFD), Discrete Phase Model (DPM), long-burning boiler.

Auyeszhanova A., Yerekenova M., Sultanbayev N., Borsikbayeva A., Bissakhan N. Numerical modeling of the combustion process in a fixed bed of coal based on experimental studies //Mechanics and Technology / Scientific journal. – 2026. – No.1(91). – P.418-426. https://doi.org/10.55956/BJPQ8611

Introduction. Today, coal is one of the main sources of fuel and energy on earth. It is widely used in the production of electricity and heating, as well as a raw material in the metallurgical and chemical industries. Its low cost is a key factor in its availability and frequent use [1].

However, the intensive use of solid fuels is associated with significant environmental consequences. During coal combustion, carbon (C), sulfur (S) and nitrogen (N) react with oxygen (O), leading to the formation of gaseous products, including carbon dioxide and carbon monoxide (CO_2 and CO), sulfur dioxide and sulfur trioxide (SO_2 and SO_3), as well as nitrogen oxides (NO_2 and NO) [1]. In addition to gaseous emissions, considerable amounts of solid waste containing heavy metals, such as mercury, are generated. Burning coal produces a large mass of solid waste containing heavy metals like mercury, and the formation of gaseous

substances causes acid rain and a greenhouse effect that negatively affects human health [2].

Increasing efficiency and reducing environmental damage will make it possible to use coal in further industry as the main type of source. Both experimental and numerical studies are used to develop the solution. Experimental studies require substantial material resources and complex technical implementation, whereas numerical modeling enables detailed analysis of combustion processes, prediction of flow parameters, and evaluation of the influence of various factors without additional environmental risks. Therefore, the development and application of numerical models capable of describing complex physicochemical processes of coal particle combustion and optimizing operating parameters are of particular importance [3].

Mathematical modeling based on computational fluid dynamics (CFD) is an effective tool for the detailed investigation of combustion processes and flow structures. Within this framework, several models have been developed to describe gas-solid flows:

– Two-Fluid Model (TFM)- an Euler-Euler approach in which the gas and solid phases are treated as interpenetrating continua, with closure provided by the kinetic theory of granular flow (KTGF). This method ensures high computational efficiency for large-scale systems; however, it limits the discrete representation of individual particles [4].

– CFD-DEM hybrid method- a coupled computational fluid dynamics and discrete element method that enables simulation of individual particle motion while accounting for interparticle collisions, providing high physical fidelity at the expense of significant computational costs [4].

– Dense Discrete Phase Model (DDPM)- a modified Lagrangian approach in which particle collisions are represented through model interaction forces, providing a compromise between accuracy and computational efficiency, although additional validation of this method is required [4].

– Discrete Phase Model (DPM)- the Euler-Lagrange approach used in this study [5].

In this work, coal particles were modeled as a discrete phase using the discrete phase method(DPM), which describes the movement of particles along the trajectories of individual “packages.” This approach can significantly reduce computational costs by grouping particles [5]. Despite the advantages associated with particle trajectory tracking, the DPM method remains computationally demanding when applied to large-scale systems with high dispersed-phase concentrations [6].

Materials and methods. *Mathematical model.* The developed numerical model is based on the following governing equations.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (1)$$

Equation (1) represents the conservation of mass for the gas phase. Here, ρ- is the gas density, v- is the velocity vector, and S_m denotes a volumetric mass source term associated with phase transformations and thermochemical processes such as devolatilization and char burnout of solid fuel particles [7,8]. In the present study, S_m accounts for interphase mass transfer. During coal combustion, gaseous products are generated from the solid phase, resulting in a positive contribution to

the gas-phase mass (S_m>0). The left-hand side of Equation (1) describes the transient variation of density and the convective transport of mass.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v}\vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\bar{\tau}}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (2)$$

Equation (2) represents the two-dimensional Navier-Stokes equations for a viscous compressible fluid, derived from Newton's second law applied to an infinitesimal control volume. The left-hand side includes the transient and convective transport of momentum. The right-hand side accounts for pressure forces, viscous stresses, gravitational body forces, and additional external forces acting on the flow [7-9].

$$\frac{\partial}{\partial T}(\rho E) + \nabla \cdot \left(\vec{v}(\rho E + p)\right) = \nabla \cdot \left(k_{eff}\nabla T - \sum_j h_j \vec{J}_j + \left(\bar{\bar{\tau}}_{eff} \cdot \vec{v}\right)\right) + S_h \quad (3)$$

Equation (3) governs energy transport in the gas phase. It accounts for convective energy transfer, thermal conduction, species diffusion, and viscous dissipation effects. The effective thermal conductivity k_{eff} includes both molecular and turbulent contributions. The first three terms on the right-hand side represent energy transfer due to conduction, species diffusion, and viscous dissipation, respectively. The source term S_h incorporates the heat released by chemical reactions as well as other volumetric heat sources [7,8].

The total specific energy is defined as:

$$E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2}$$

here: $h = \sum_j Y_j h_j$, Y_j is the mass fraction of species j, $h_j = \int_{T_{ref}}^{T} c_{p,j}\, dT$, where $T_{ref} = 298.15K$.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho \vec{u} Y_i) = -\nabla \cdot \vec{J}_i + R_i + S_i \quad (4)$$

Equation (4) describes the conservation of species mass fractions in the gas phase. It accounts for molecular and turbulent diffusion, chemical reaction rates, and additional source terms associated with mass transfer from the dispersed phase. For a system consisting of N chemical species, only N−1 transport equations are solved, since the sum of mass fractions must equal unity [8,9].

For turbulent flows, the diffusive flux is expressed as:

$$\vec{J}_i = -\left(\rho D_{i,m} + \frac{\mu_t}{Sc_t}\right)\nabla Y_i$$

where: $Sc_t = \frac{\mu_t}{\rho D_t}$ − turbulent Schmidt number (μ_t − the turbulent viscosity and D_t − the turbulent diffusivity). The default Sc_t is 0.7 [8].

The motion of dispersed-phase particles is described in a Lagrangian framework by integrating the force balance acting on an individual particle. The governing equation accounts for aerodynamic drag, gravitational force, and additional acceleration terms resulting from particle-fluid interaction [9].

In Cartesian coordinates (x-direction), the particle force balance can be written as:

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(u - u_p) + \frac{g_x(\rho_p - \rho)}{\rho_p} + F_x \quad (5)$$

where F_x is an additional acceleration term, $F_D(u - u_p)$ is the drag force per unit particle mass, u is the fluid phase velocity, u_p is the particle velocity, ρ is the density of the continuous (gas) phase, ρ_p is the density of the particle, d_p is the particle diameter and Re is the relative Reynolds number.

Turbulent model $k - \varepsilon$ realizable. Turbulence effects are modeled using the realizable $k - \varepsilon$ model within the Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) framework [10]. Transport equations for the turbulent kinetic energy k and its dissipation rate ε are solved. Unlike the standard $k - \varepsilon$ model, the realizable formulation employs a variable model coefficient and a modified dissipation equation, ensuring realizability constraints on the Reynolds stresses and improving predictions of flow separation, recirculation, and jet-dominated flows.The turbulent viscosity is computed as a function of $k - \varepsilon$ according to the realizable formulation. All model constants are set to their default values as implemented in ANSYS Fluent [11]. The choice of the realizable k–ε turbulence model is justified by its improved numerical stability and its widespread use in industrial CFD applications, including ANSYS Fluent. Unlike the standard k–ε model, the realizable formulation employs a variable turbulent viscosity coefficient and a modified transport equation for the dissipation rate ε. This ensures compliance with the realizability constraints for the Reynolds stresses and improves the prediction of complex flows with intense turbulence, which are characteristic of combustion processes and multiphase jets.

Numerical simulation. Numerical simulation was used to reproduce the combustion of solid coal in a frontal furnace chamber whose design corresponds to the laboratory setup. Coal particles were treated as reacting (burning) particles within a Lagrangian framework. Two inlet channels are located on the side walls of the chamber: the upper inlet supplies air, while the lower inlet is used for coal particle injection. The incoming primary air initiates ignition and sustains the oxidation reaction in the region above the coal bed, forming a stable vertical flame. The geometric features of the side part of the chamber, including the stepped inlets, replicate the actual conditions of interaction between the air jet and coal particles and provide an adequate numerical representation of the aerodynamics and heat transfer. The main objective of the problem is to track the propagation of thermal effects, which depend directly on the oxidizer, namely air.

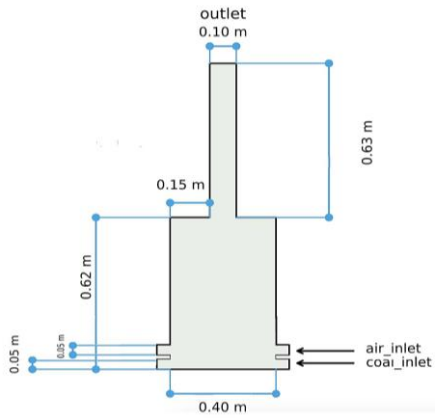


Fig. 1. Geometry of the computational domain.

Figure 1 shows the geometry of the computational setup. Coal, in the form of particles, was introduced through the lower side steps (size 0.5 m), whereas the two upper side inlets were assigned for the air flow (0.05 m each). The spatial step was 0.0035 m, resulting in a total of 25530 computational mesh elements. The coupling between the pressure and velocity fields was handled using the SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations) algorithm, which is widely applied for incompressible and weakly compressible flows [12].

At the air inlet (air_inlet), Dirichlet boundary conditions were specified for velocity, temperature, and species composition. The velocity vector was directed normal to the boundary with a magnitude of 0.5 m/s , and the inlet air temperature was set to 300 K . The component mass fractions were prescribed as $Y_{O_2} = 0.23$ and $Y_{N_2} = 0.77$, while the initial concentrations of all other gaseous species were taken as zero.

Coal was supplied through the coal_inlet boundary. For the gas phase, Dirichlet conditions with zero velocity and a temperature of 300 K were imposed. Coal particles were injected using the discrete phase model (DPM) with an initial temperature of $T_p = 500\ K$.

At the outlet, a pressure outlet condition was applied with a specified gauge pressure of $p = 0$. For velocity, temperature, and species mass fractions, Neumann boundary conditions with zero normal gradients were used, ensuring free outflow from the computational domain.

All remaining boundaries were treated as stationary walls. A Dirichlet condition was imposed for velocity, corresponding to the no-slip condition. Thermal interaction with the walls was described by the adiabatic Neumann boundary condition($\partial T/\partial n=0$). No mass transfer through the walls was allowed, which was represented by zero normal gradients of the species mass fractions.

Research results and discussion. The following figure shows the temperature fields at various times showing the development and stabilization of the flame during coal combustion. At the initial stage of the combustion process, a region of elevated temperature is observed near the ignition zone. As time increases, the high temperature region expands and a stable flare structure forms. Over time, the temperature field stabilizes, which indicates that the process has reached quasi-steady state.

The table 1 presents a comparison between experimental and numerical results for concentration and temperature.

Table 1

Comparison of experimental and numerical results for concentration and temperature.

Parameter	Experiment	CFD
$C0_2$ (%)	9.08-14.15%	13.94%
CO, mg/m^3	903-1233 mg/m^3	980 mg/m^3
Temperature, K	1173,5 K	1627 K

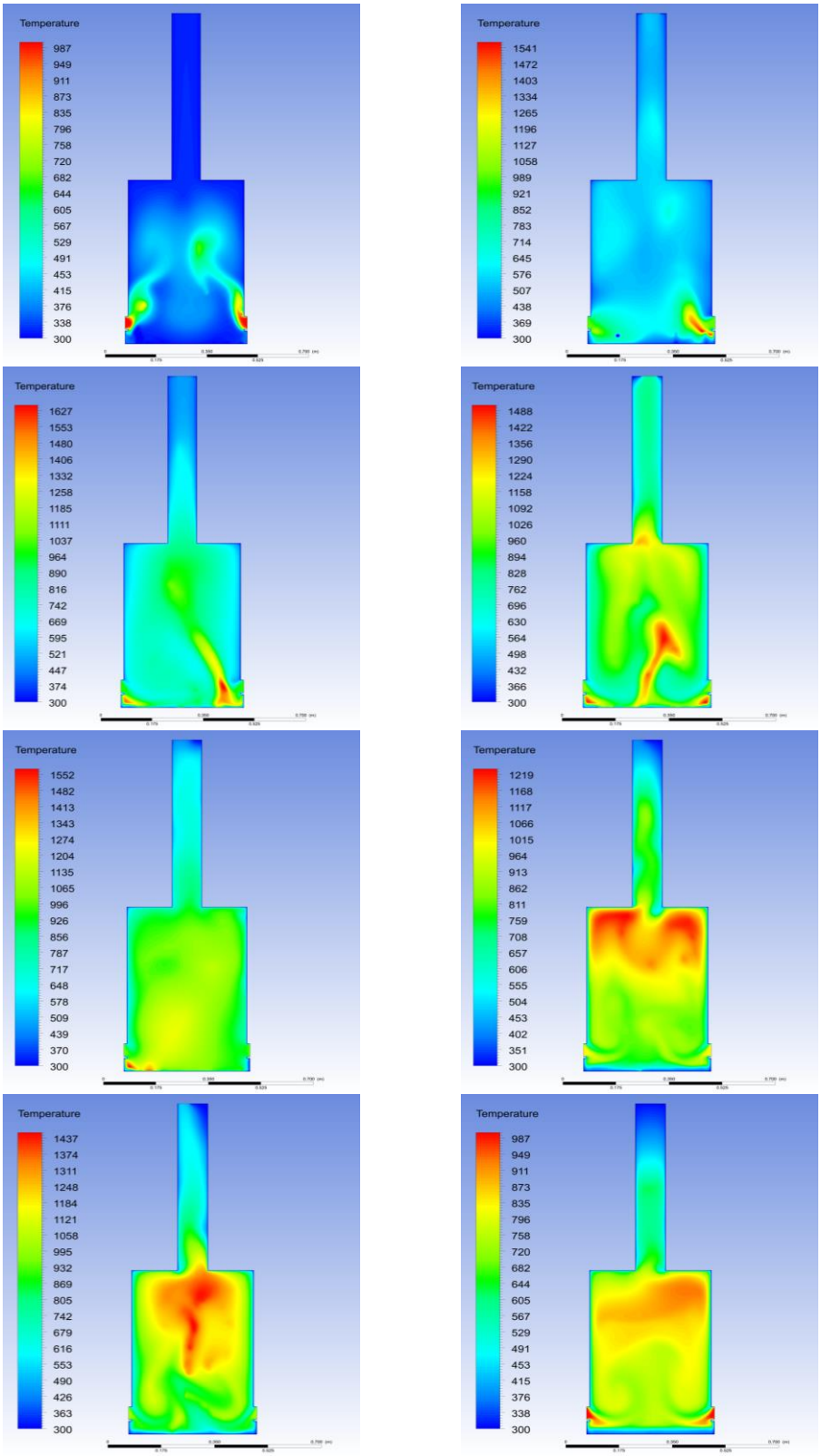


Fig. 2. Temperature contours in the computational geometry at different time points (t = 2, 3, 4, 5,6,7,8,9 and 10 seconds, respectively) for an initial coal combustion temperature T = 500K and an initial air velocity 0.25 m/s

The observed discrepancy between the experimental and numerical temperature values may be attributed to several factors. In the experiment, temperature measurements were performed at a specific location within the installation, whereas the numerical model considers a temperature value of 1627 K at computational coordinates that may not fully coincide with the position of the measurement sensor. In addition, the boundary conditions used in the model are idealized, which affects the inflated temperature values.

At the same time, the obtained values the main gaseous component concentrations are consistent with the results of experiments, without going beyond the measurement error. This confirms the accurate representation of the mathematical model and the correctness of the description of the chemical combustion process. Thus, the observed temperature discrepancy is quantitatively limited, does not contradict the overall physical trends of the process, and does not reduce the reliability of the developed model.

Conclusion. This study presents a comprehensive investigation of coal combustion in a furnace chamber through a combination of experimental measurements and numerical simulations. The primary objective was the development and validation of a mathematical model capable of accurately reproducing the physical and chemical processes occurring during solid fuel combustion.

The experimental campaign included measurements of flue gas temperature and the concentrations of major combustion products (CO_2 and CO) under different operating conditions. These data were used to verify the numerical model implemented in ANSYS Fluent. The model incorporates a Lagrangian discrete phase approach (DPM) to describe coal particle heating, devolatilization, and heterogeneous char combustion, coupled with a turbulent gas-phase flow modeled using the realizable k–ε formulation within the RANS framework.

A comparison between numerical predictions and experimental results demonstrated good agreement, particularly for CO and CO_2 concentrations. This confirms the reliability and predictive capability of the developed model. Although minor discrepancies were observed in temperature distributions, these differences can be attributed to idealized boundary conditions in the numerical setup and spatial variations between measurement and sampling locations. Overall, the model adequately captures the dominant thermo-physical and chemical phenomena governing the combustion process.

Parametric numerical analyses revealed a significant influence of inlet air velocity and initial coal temperature on temperature fields and species concentration distributions. Variations in air velocity affect mixing conditions and heat transfer intensity, while the initial fuel temperature influences devolatilization rates and heat release characteristics during the early combustion stages.

The developed numerical framework can be applied to further investigations of coal combustion processes, emission prediction, and optimization of furnace operating regimes. Future work will focus on extended parametric studies, refinement of reaction kinetics schemes, and the implementation of optimization strategies aimed at minimizing NOx and CO emissions while maintaining high thermal efficiency.

References

1. Munawer M.E. Human health and environmental impacts of coal combustion and post-combustion wastes // Journal of Sustainable Mining. – 2018. – Vol. 17. – No. 2. – P. 87-96. https://doi.org/10.1016/j.jsm.2017.12.007.

2. Dorokhov V., Vershinina K., Kartashova K., Kovtunets I., Strizhak P. Energy and environmental characteristics of coal and biocomponents co-combustion // Energy. – 2025. – Vol. 340. – Art. 139359. https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.139359.
3. Zhao P., Xu R., Zhang J., Yu A., Gou P., Hu Z., Jia G. Numerical simulation research on the co-combustion of biochar and pulverized coal in the raceway of blast furnace // Energy. – 2025. – Vol. 314. – Art. 134310. https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.134310.
4. Chen X., Wang J. A comparison of two-fluid model, dense discrete particle model and CFD-DEM method for modeling impinging gas–solid flows // Powder Technology. – 2014. – Vol. 254. – P. 94-102. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2013.12.056.
5. Lu Y., Li S., Xu W., Wang W. Numerical simulation study of indoor disinfection spray distribution based on CFD-DPM method // Journal of Engineering Research. – 2024. – Vol. 12. – No. 3. – P. 562-570. https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.10.039.
6. Liu X., Zhu A., Yang L., Xu J., Li H., Ge W., Ye M. Numerical simulation of commercial MTO fluidized bed reactor with a coarse-grained discrete particle method — EMMS–DPM // Powder Technology. – 2022. – Vol. 406. – Art. 117576. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2022.117576.
7. Anderson J.D. Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications. – New York: McGraw-Hill, 1995. – 730 p.
8. Versteeg H.K., Malalasekera W. An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method. 2nd ed. – Harlow: Pearson Education, 2007. – 446 p.
9. Ferziger J.H., Perić M. Computational Methods for Fluid Dynamics. 3rd ed. – Berlin: Springer, 2002. – 475 p.
10. Shih T.-H., Liou W.W., Shabbir A., Yang Z., Zhu J. A new k–ε eddy viscosity model for high Reynolds number turbulent flows // Computers & Fluids. – 1995. – Vol. 24. – No. 3. – P. 227-238.
11. ANSYS, Inc. ANSYS Fluent Theory Guide. – Canonsburg, PA: ANSYS Inc., 2023. – 1420 p.

Received: 02 February 2026
Accepted: 20 March 2026

А. Әуесжанова[1], М. Ерекенова[1], Н. Сұлтанбаев[1], А. Борсикбаева[1], Н. Бисахан[2]

[1]Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы, Қазақстан
[2]Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУЛЕР НЕГІЗІНДЕ КӨМІРДІҢ ҚОЗҒАЛМАЙТЫН ҚАБАТЫНДА ЖАНУ ПРОЦЕСІН САНДЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

Аңдатпа. Бұл зерттеуде ұзақ жанатын қазандықтарда қатты көмірдің жану математикалық моделі жасалды және химиялық реакциялар мен жылу алмасу процестерінің әсері талданды. Модель Рейнольдс-орташаланған Навье-Стокс теңдеулеріне (RANS) негізделген және k-realizable турбуленттік моделі арқылы жабылған. Көмір бөлшектерінің динамикасы дискретті фаза моделі (DPM) арқылы сипатталады. Жану процесінің сандық модельдеуі жүргізілді, одан кейін есептік деректер эксперименттік нәтижелермен салыстырылды. Зерттеу сандық және эксперименттік жолмен алынған температура өрістері мен негізгі ағын параметрлері арасындағы жақсы сәйкестікті көрсетеді. Жүргізілген валидация жасалған математикалық модельдің сенімділігі мен дәлдігін растайды.

Тірек сөздер: көмір жағу, сандық модельдеу, есептеуіш гидродинамика(CFD), дискретті фазалық модель(DPM), ұзақ жанатын қазандық.

А. Әуесжанова[1], М. Ерекенова[1], Н. Султанбаев[1], А. Борсикбаева[1], Н. Бисахан[2]

[1]Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан
[2]Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЖИГАНИЯ В НЕПОДВИЖНОМ СЛОЕ УГЛЯ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Аннотация. В данном исследовании разработана математическая модель горения твердого угля в котлах длительного горения и проанализировано влияние химических реакций и процессов теплопередачи. Основу модели составляют осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса (RANS), замкнутые с использованием k-ε realizable модели турбулентности. Динамика угольных частиц описывается с применением дискретной фазовой модели (DPM). В работе выполнено численное моделирование процесса горения с последующим сопоставлением полученных расчетных данных с экспериментальными результатами. В рамках исследования показано хорошее совпадение температурных полей и основных параметров течения, полученных численным и экспериментальным путем. Проведенная валидация подтверждает надежность и точность разработанной математической модели.

Ключевые слова: сжигание угля, численное моделирование, вычислительная гидродинамика (CFD), дискретная фазовая модель (DPM), котел длительного горения.

IRSTI 61.31.57

A.K. Kalymbet[1] – *main author*,
Sh.N. Kubekova[2], **V.I. Kapralova**[3]

[1]*Master of Engineering and Technology, Senior Lecturer,*
[2]*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,*
[3]*Doctor of Technical Sciences, Associate Professor*

ORCID [1]*https://orcid.org/0000-0003-2513-1181* [2]*https://orcid.org/0000-0001-8665-9970*
[3]*https://orcid.org/0000-0003-1565-0818*

[1]*Satbayev University,*
Almaty, Kazakhstan

@ [1]*a.kalymbet@satbayev.university*

https://doi.org/10.55956/DBHH4781

COMPARATIVE STUDY OF A SILICOPHOSPHATE SORBENT BASED ON ENRICHMENT WASTES FROM THE AKBAKAY DEPOSIT AND BENTONITE IN THE SORPTION OF COPPER IONS FROM AQUEOUS SOLUTIONS

Abstract. This work presents a comparative evaluation of a modified silicophosphate sorbent, synthesized from gold ore processing wastes of the Akbakay deposit via treatment with 20% orthophosphoric acid and subsequent calcination at 600°C, against natural and thermally treated bentonite. Key performance indicators, including solubility, mechanical strength, and equilibrium sorption capacity for copper ions, were determined. The Akbakay-derived silicophosphate sorbent exhibited exceptionally low aqueous solubility (1.22%), in stark contrast to natural bentonite, which actively disperses to form a stable colloidal emulsion. The modified sorbent demonstrated significantly superior Cu^{2+} removal efficiency across the entire investigated concentration range. While the high colloidality and solubility of bentonite constrain its utility in water treatment applications, the silicophosphate sorbent maintains its structural integrity and operational performance. This comparative analysis confirms the practical advantage of the modified sorbent derived from Akbakay technogenic waste for implementation in wastewater purification systems.

Keywords: silicophosphate sorbent, processing wastes, bentonite, copper cation, sorption, solubility, mechanical strength, heavy metals, water treatment.

Kalymbet A.K., Kubekova Sh.N., Kapralova V.I. Comparative study of a silicophosphate sorbent based on enrichment wastes from the Akbakay deposit and bentonite in the sorption of copper ions from aqueous solutions //Mechanics and Technology / Scientific journal. – 2026. – No.1(91). – P.427-432. https://doi.org/10.55956/DBHH4781

Introduction. Industrial wastewater streams frequently contain toxic heavy metal ions, such as copper, which pose significant environmental and health risks and necessitate efficient remediation strategies [1-3]. Natural aluminosilicate minerals, particularly bentonite clays, have been extensively employed as adsorbents for this purpose, leveraging their abundance, low cost, and inherent cation exchange capacity [4,5]. However, their application, especially in dynamic filtration systems, is severely hampered by intrinsic drawbacks, including high

dispersibility, a propensity for emulsion formation, and partial solubility in aqueous media [6,7].

The development of chemically stabilized sorbents from mineral and technogenic raw materials represents a promising avenue. Silicophosphate materials, in particular, offer enhanced chemical durability, resulting in low solubility and high stability in water [8]. This study presents a direct comparative assessment of a novel silicophosphate sorbent against conventional bentonite. The comparison is fundamentally justified by the compositional similarity of the matrices; both materials are predominantly silicate-based, with silica (SiO_2) constituting 50-60% of their mass. The novelty of this research lies in a comprehensive evaluation of a sorbent modified from Akbakay gold mining waste (using 20% H_3PO_4 and calcination at 600°C) versus natural and calcined bentonite, focusing on critical physicochemical and sorptive properties relevant to practical application.

Materials and methods. The following materials were investigated:

– A silicophosphate sorbent synthesized from Akbakay deposit processing waste, modified with 20% orthophosphoric acid and calcined at 600°C;

– Natural granular bentonite (conforming to Technical Specifications TU 2164-004-00204493-2009);

– Bentonite calcined at 600°C.

Analysis Methods:

– Solubility and mechanical strength were determined using standard methods [9].

– Material Characterization: The detailed mineralogical and elemental composition of the initial Akbakay processing waste and the derived silicophosphate sorbent, confirming the structural transformation upon phosphoric acid treatment and calcination, was established in our prior study using X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), and other analytical techniques [8].

– Sorption Experiments: Batch sorption experiments were conducted to evaluate Cu^{2+} uptake. A 3.0 g sample of each sorbent was mixed with 100 mL of Cu^{2+} solution at varying initial concentrations (1, 10, 20, 30, and 40 mg/L). The suspensions were stirred at 200 rpm for 24 h at room temperature. After filtration (0.45 μm membrane filter), the residual Cu^{2+} concentration was measured using an AA-7000 atomic absorption spectrometer (Shimadzu, Japan). The equilibrium sorption capacity (q_e, mg/g) was calculated using the mass balance equation [10].

Research results. *Solubility and Mechanical Strength.* According to the results presented in Table 1 natural bentonite undergoes rapid dispersion in water, forming a persistent turbid emulsion. Thermal treatment at 600°C reduces its solubility by approximately 50%, yet fails to resolve the fundamental issue of colloidal stability, consistent with reported behavior of thermally modified clays [11].

Table 1

Physicochemical Properties of the Sorbents

Sample	Solubility, %	Mechanical Strength, %
Silicophosphate sorbent (Akbakay, 600°C, 20% H_3PO_4)	1.22	91.0
Natural bentonite	80.0	83.5
Bentonite calcined at 600°C	42.4	90.0

Equilibrium Sorption of Copper Ions (Cu^{2+}). The silicophosphate sorbent exhibited consistently high removal efficiency, markedly surpassing both bentonite variants across the tested concentration spectrum (Table 2). Its performance advantage is particularly pronounced at medium to high initial Cu^{2+} concentrations (10-40 mg/L), where the bentonite samples demonstrate unstable and limited sorption capacity [6,11].

Table 2
Residual Cu^{2+} concentrations and calculated sorption capacities after 24 h equilibrium

	Akbakay Silicophosphate Sorbent		Natural Bentonite		Bentonite (600°C)	
C_0 (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)
1	0.0357	0.032	0.0099	0.033	0.0141	0.033
10	0.0299	0.332	0.6461	0.312	0.5739	0.314
20	0.0930	0.664	2.2238	0.593	1.1543	0.628
30	0.0606	0.998	2.0226	0.933	1.3982	0.953
40	0.1802	1.327	0.3845	1.320	1.9594	1.268

The comparative efficiency of the investigated sorbents for Cu^{2+} ion removal is visualized in Figure 1. The plot reveals a fundamental difference in material behavior: the silicophosphate sorbent maintains exceptionally low equilibrium concentration values (C_e) across the entire studied range of initial concentrations (C_0 = 1–40 mg/L), whereas for both natural and calcined bentonite, a sharp increase in C_e is observed even at moderate loadings (C_0 > 10 mg/L). This dependence of C_e on C_0 provides clear evidence of the higher and more stable sorption capacity of the modified silicophosphate material.

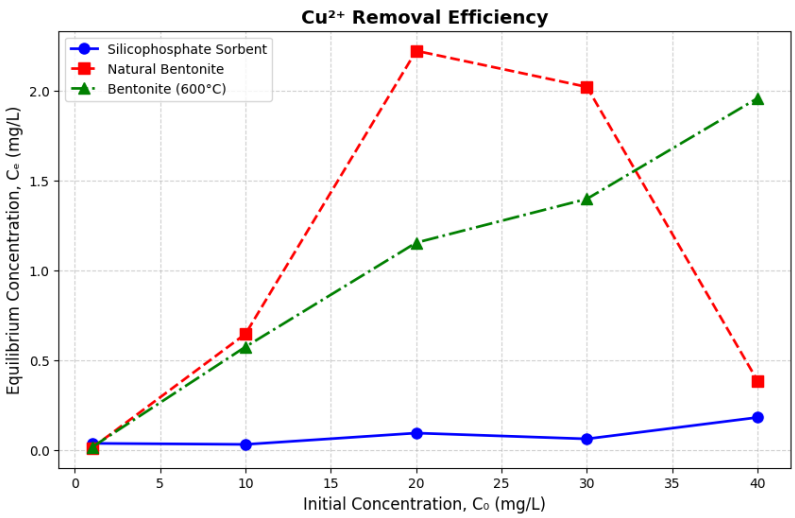


Fig. 1. Equilibrium Cu^{2+} concentration (C_e) vs. initial concentration (C_0) for various sorbents

Discussion. The experimental data underscore the superior operational profile of the modified silicophosphate sorbent derived from Akbakay waste. Its minimal solubility (1.22%) and high mechanical robustness (91%) are attributable

to the formation of a consolidated, cross-linked silicate-phosphate network during acid modification and high-temperature treatment, a synthesis pathway supported by prior research [8]. Conversely, bentonite, even after calcination, retains substantial hydrophilic character, leading to dispersion, mass loss via solubilization, and consequently, increased fouling potential in filtration systems [6,12].

The sorbent's high and stable affinity for Cu^{2+} ions, evident from the consistently low residual concentrations ($C_e < 0.2$ mg/L) across all loadings, can be attributed to its developed surface area and the presence of accessible, high-affinity binding sites, primarily protonated phosphate (≡P–OH) and possibly silicate (≡Si–OH) groups. These sites facilitate efficient ion exchange and inner-sphere complexation with Cu^{2+}. In contrast, the sorption behavior of both bentonite samples is non-linear and less effective. Natural bentonite shows a sharp decline in efficiency at moderate concentrations (10-20 mg/L), suggesting rapid saturation of its limited exchange sites. While calcination enhances the mechanical strength of bentonite by dehydroxylation, it does not introduce new sorptive functional groups and may partially collapse the layered montmorillonite structure [11], resulting in only a marginal improvement in copper uptake compared to its natural counterpart.

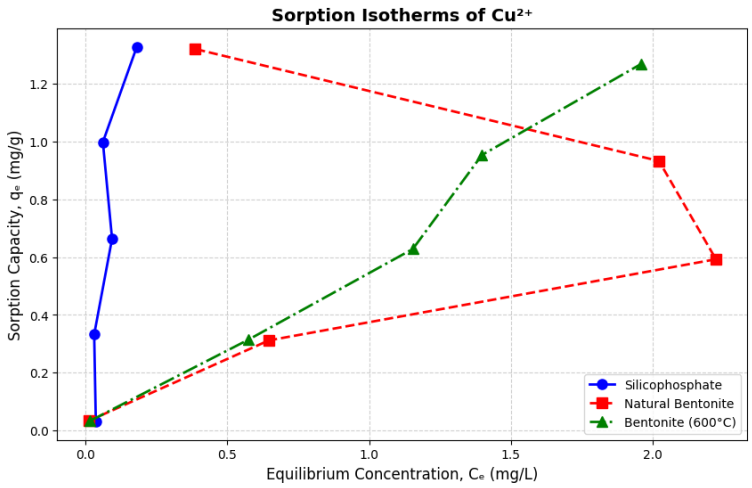


Fig. 2. Experimental sorption isotherms of Cu^{2+}

The sorption isotherms presented in Fig. 2, depicting the uptake (q_e) as a function of equilibrium concentration (C_e), provide a qualitative assessment of the sorbents' affinity for copper ions. The curve for the silicophosphate sorbent is positioned significantly higher and exhibits a steeper initial slope, indicating its high capacity and efficiency at low concentrations. The isotherms for the bentonite samples are more gradual and lie below, revealing a lower number of accessible active sites and weaker binding of Cu^{2+}, which is consistent with the data shown in Table 2.

Conclusion. A novel silicophosphate sorbent, synthesized from Akbakay processing waste via phosphoric acid modification (20% H_3PO_4) and calcination (600°C), has been developed. It exhibits exceptional operational characteristics: ultra-low aqueous solubility (1.22%), high mechanical strength (91%), and stability of granule morphology in water.

Natural and thermally treated bentonites are characterized by significant dispersibility and solubility in water (42-80%), representing critical limitations for their deployment in continuous-flow treatment processes.

The modified silicophosphate sorbent demonstrates significantly greater efficacy in removing Cu^{2+} ions from aqueous solution across the concentration range of 1-40 mg/L compared to both bentonite samples. It maintains residual Cu^{2+} levels below 0.2 mg/L, whereas the bentonites exhibit a sharp increase in C_e, exceeding 1-2 mg/L, at medium loadings.

The synergistic combination of low solubility, physical integrity, mechanical strength, and superior, consistent sorption performance validates the practical viability and promise of this silicophosphate sorbent, derived from technogenic waste, for the treatment of heavy metal-contaminated wastewater.

References

1. Carolin C.F., et al. Efficient techniques for the removal of toxic heavy metals from aquatic environment: A review // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2017. – Vol. 5. – No. 3. – P. 2782-2799.
2. Alloway B.J. Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. – Vol. 22. – Springer Science & Business Media, 2013.
3. Barakat M.A. New trends in removing heavy metals from industrial wastewater // Arabian Journal of Chemistry. – 2011. – Vol. 4. – No. 4. – P. 361-377.
4. Adepoju O.T., Oladipo O.S., Afolabi O.M. Bentonite clay as an alternative adsorbent for removal of heavy metals in wastewater // FUOYE Journal of Engineering and Technology. – 2023. – Vol. 8. – No. 3. – P. 1033.
5. Wang S., Peng Y. Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment // Chemical Engineering Journal. – 2010. – Vol. 156. – No. 1. – P. 11-24.
6. Bhattacharyya K.G., Gupta S.S. Adsorption of a few heavy metals on natural and modified kaolinite and montmorillonite: a review // Advances in Colloid and Interface Science. – 2008. – Vol. 140. – No. 2. – P. 114-131.
7. Wingenfelder U., Hansen C., Furrer G., Schulin R. Removal of heavy metals from mine waters by natural zeolites // Environmental Science & Technology. – 2005. – Vol. 39. – No. 12. – P. 4606-4613.
8. Kalymbet A., Kubekova S., Kapralova V., Lavrova S. From Gold Mining Waste to Functional Sorbents: Structural and Compositional Insights into Copper Adsorption Efficiency // ES Materials and Manufacturing. – 2025. – Vol. 30. – P. 1777.
9. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. – 23rd ed. – APHA, AWWA, WEF, 2017.
10. Foo K.Y., Hameed B.H. Insights into the modeling of adsorption isotherm systems // Chemical Engineering Journal. – 2010. – Vol. 156. – No. 1. – P. 2-10.
11. Boukerroui A. Copper(II) ions removal from aqueous solution using bentonite treated with ammonium chloride // American Journal of Physical Chemistry. – 2012. – Vol. 1. – No. 1. – P. 1.
12. Liu P., Zhang L. Adsorption of dyes from aqueous solutions or suspensions with clay nano-adsorbents // Separation and Purification Technology. – 2007. – Vol. 58. – No. 1. – P. 32-39.

This research is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR21881939).

Received: 03 December 2025
Accepted: 18 February 2026

А.Қ. Қалымбет[1], Ш.Н. Кубекова[1], В.И. Капралова[1]

[1]Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан

СУЛЫ ЕРІТІНДІЛЕРДЕН МЫС ИОНДАРЫН СОРБЦИЯЛАУДА АҚБАҚАЙ КЕНІНЕН АЛЫНҒАН БАЙЫТУ ҚАЛДЫҚТАРЫ НЕГІЗІНДЕГІ СИЛИКОФОСФАТ СОРБЕНТІН БЕНТОНИТПЕН САЛЫСТЫРМАЛЫ ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Бұл мақалада алтын құрамды Ақбақай кен орнында кенді өңдеуден алынған қалдықтардан 20% ортофосфор қышқылымен өңдеу және кейіннен 600°C температурада күйдіру арқылы синтезделген модификацияланған силикофосфат сорбентін табиғи және жылумен өңделген бентонитпен салыстырғанда салыстырмалы бағалауы берілген. Ерігіштігі, механикалық беріктігі және мыс иондарының тепе-теңдік сорбциялық қабілеті сияқты негізгі көрсеткіштер анықталды. Ақбақай кен орнынан алынған силикофосфат сорбенті суда өте төмен ерігіштігін көрсетті (1,22%), бұл тұрақты коллоидты эмульсия түзу үшін белсенді түрде ыдырап кететін табиғи бентонитке қарағанда күрт қарама-қайшы келеді. Модификацияланған сорбент зерттелген концентрацияның барлық диапазонында Cu^{2+} жою тиімділігін айтарлықтай жоғары көрсетті. Бентониттің жоғары коллоидтылығы мен ерігіштігі оны суды тазартуда қолдануда шектесе, силикофосфат сорбенті өзінің құрылымдық тұтастығын және өнімділік сипаттамаларын сақтайды. Салыстырмалы талдау Ақбақайдың өнеркәсіптік қалдықтарынан алынған модификацияланған сорбентті ағынды суларды тазарту жүйелерінде қолданудың практикалық мүмкіндігін растайды.

Тірек сөздер: силикофосфат сорбенті, өңдеу қалдықтары, бентонит, мыс катионы, сорбция, ерігіштік, механикалық беріктік, ауыр металдар, суды тазарту.

А.Қ. Қалымбет[1], Ш.Н. Кубекова[1], В.И. Капралова[1]

[1]Сатбаев Университет, Алматы, Казахстан

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛИКОФОСФАТНОГО СОРБЕНТА НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АКБАКАЙ И БЕНТОНИТА ПРИ СОРБЦИИ ИОНОВ МЕДИ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

Аннотация. В данной работе представлена сравнительная оценка модифицированного силикофосфатного сорбента, синтезированного из отходов переработки золотосодержащей руды месторождения Акбакай путем обработки 20% ортофосфорной кислотой и последующего прокаливания при 600 °C, с природным и термически обработанным бентонитом. Были определены основные показатели эффективности, включая растворимость, механическую прочность и равновесную сорбционную емкость по ионам меди. Силикофосфатный сорбент, полученный из месторождения Акбакай, продемонстрировал исключительно низкую растворимость в воде (1,22%), что резко контрастирует с природным бентонитом, который активно диспергируется с образованием устойчивой коллоидной эмульсии. Модифицированный сорбент продемонстрировал значительно превосходящую эффективность удаления Cu^{2+} во всем исследованном диапазоне концентраций. В то время как высокая коллоидность и растворимость бентонита ограничивают его применение в очистке воды, силикофосфатный сорбент сохраняет свою структурную целостность и эксплуатационные характеристики. Проведенный сравнительный анализ подтверждает практическую целесообразность использования модифицированного сорбента, полученного из техногенных отходов Акбакая, в системах очистки сточных вод.

Ключевые слова: силикофосфатный сорбент, отходы переработки, бентонит, катион меди, сорбция, растворимость, механическая прочность, тяжелые металлы, водоочистка.

ҒТАМР 61.51.17

Е.А. Аубакиров[1] – *негізгі автор*,
Б.Т. Кидирбоев[2], I.L. Simakova[3],
М.Р. Рақымжан[4], Б.Е. Әлібеков[5], Қ. Амантайұлы[6]

©

[1]Хим. ғылым. д-ры, профессор, [2,5]Магистрант, [4]Студент

ORCID
[1]https://orcid.org/0000-0001-5405-4125 [2]https://orcid.org/0009-0004-6699-0454
[3]https://orcid.org/0000-0002-5138-4847 [6]https://orcid.org/0000-0002-4244-9629

[1,2,4,5,6]әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
[3]Ресей ғылым академиясы Сібір бөлімшесінің Г.К. Боресков атындағы катализ институты, Новосибирск, Ресей

@ *[1]ermek.aubakirov64@gmail.com*

https://doi.org/10.55956/SIMD8398

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН МОТОР МАЙЛАРЫНЫҢ ПИРОЛИЗІ НӘТИЖЕСІНДЕ ТЕМПЕРАТУРА ӘСЕРІНЕН ТҮЗІЛЕТІН ӨНІМДЕРДІҢ ҚҰРАМЫН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Бұл зерттеуде пайдаланылған мотор майларын (ПММ) термиялық пиролиздеу барысында температуралық режимнің (380-440°C) түзілетін сұйық өнімдердің топтық көмірсутектік құрамына әсері қарастырылды. Тәжірибелер 0,5 МПа азот қысымында, автоклавтық реакторда 40 минут бойы үздіксіз араластырумен (150 rpm) жүргізілді. Алынған сұйық өнімдер айдау арқылы нафта (30–180 °C), керосин (180-260°C) және газойль (260-350°C) фракцияларына бөлініп, олардың құрамы GC-FID («Хромос GX-1000») әдісімен талданды. Нәтижелер көрсеткендей, температура 380°C-тан 440°C-қа дейін артқанда, нафта фракциясындағы парафиндер мөлшерін 14%-дан 20%-ға дейін, ал нафтендерді 10%-дан 17%-ға дейін арттырды. Сонымен қатар ароматты көмірсутектердің үлесі 42%-дан 32%-ға, ал олефиндер 16%-дан 10%-ға дейін төмендеді. Ұқсас заңдылықтар керосин және газойль фракцияларында да байқалып, жалпы парафиндік көмірсутектер мөлшері 10-11%-ға артқаны анықталды. Бұл температураның жоғарылауы термиялық ыдырау реакцияларын тереңдетіп, өнім құрамында тұрақты қаныққан құрылымдардың жинақталуына ықпал етеді, алынған фракциялық сұйық өнімдерді дизельдік отын компоненттері және жеңіл дистилляттар ретінде тиімді пайдалануға мүмкіндік береді.

Тірек сөздер: пайдаланылған мотор майы, термиялық пиролиз, температуралық режим, топтық көмірсутектік құрам, нафта, дизельдік отын.

Аубакиров, Е.А. Пайдаланылған мотор майларының пиролизі нәтижесінде температура әсерінен түзілетін өнімдердің құрамын зерттеу [Мәтін] / Е.А. Аубакиров, Б.Т. Кидирбоев, I.L. Simakova, М.Р. Рақымжан, Б.Е. Әлібеков, Қ. Амантайұлы // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.433-441. https://doi.org/10.55956/SIMD8398

Кіріспе. Қазіргі қоғамның технологиялық дамуы мен халық санының өсуі энергия ресурстарына деген сұраныстың артуына және соған сәйкес қоршаған ортаға түсетін техногендік жүктеменің күшеюіне алып келді [1,2]. Осы тұрғыда пайдаланылған мотор майлары (ПММ) ең ірі қауіпті

қалдықтардың бірі болып табылады [1-4]. Статистикалық мәліметтерге сүйенсек, әлемде жыл сайын шамамен 24 – 40 миллион тонна пайдаланылған май түзіледі, бірақ оның тек 40% -ы ғана ресми түрде қайта өңдеуден өтеді [5,6]. ПММ – ны қоршаған ортаға бақылаусыз тастау экожүйелерге түзетілмейтін зиян келтіреді: 1 литр пайдаланылған май 1 миллион литр ауыз суын жарамсыз етуі мүмкін [1,7,8]. Бұл қалдықтар су бетінде қабықша түзіп, оттегінің еруін тежейді және судың химиялық оттегі қажеттілігін (COD) арттырады [1,8].

Мотор майларының құрамы негізінен негіздік майдан (80-90%, C_{15}-C_{50} көмірсутектері) және пайдалану барысында тотығатын немесе ыдырайтын химиялық қоспалардан (10-20%) тұрады [9,10]. ПММ құрамында қозғалтқыштың тозуынан пайда болатын ауыр металдар (Fe, Cu, Pb, Zn), сондай ақ мутагенді және канцерогенді қасиеттері бар полициклді хош иісті көмірсутектер мен полихлорланған бифенилдер жинақталады [3,4,9]. Осы факторлар ПММ-ны жай ғана кәдеге жаратуды емес, оны терең технологиялық өңдеуді талап етеді.

Қазіргі уақытта ПММ-ны басқарудың бірнеше әдісі қолданылады: регенерация (еріткішпен экстракциялау, адсорбция), инсинерация (жағу) және газдандыру [4,10,11]. Алайда жағу процесі атмосфераға улы газдар мен ауыр металдардың бөлінуіне әкелсе, регенерация әдістері қымбат және күрделі технологиялық сатыларды қажет етеді [2,4]. Пиролиз әдісі ПММ-ны жоғары сапалы энергетикалық ресурсқа айналдырудың ең тиімді бағыты ретінде қарастырылады [3,8]. Пиролиз оттегісіз ортада термиялық ыдырау арқылы бір мезгілде үш түрлі өнім – сұйық отын (пиролиз майы), синтез-газ және көміртекті қатты қалдық алуға мүмкіндік береді [1,3,12]. Пиролиз майының жылулық құндылығы жоғары (шамамен 40МДж/кг) және оны дизельдік отынның баламасы ретінде пайдалану аясы кең [8,9].

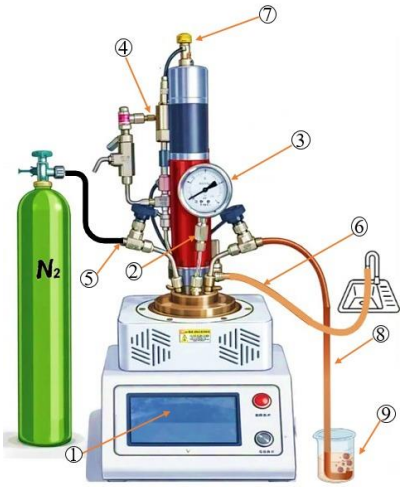
Пиролиз процесінің тиімділігі мен алынатын өнімдер сапасы негізінен температуралық режимге байланысты. Төмен температурада процестің жылдамдығы баяу болып, ауыр фракциялар басым болса, жоғары температурада екінші реттік пиролиз реакциялары күшейіп, газ шығымы артады [8,13,14]. Дегенмен, әдебиеттерге талдау көрсеткендей, ПММ пиролизі кезінде температураның көмірсутектердің тізбек ұзындығына (carbon chain length) және фракциялық құрамына әсерін нақты сандық - сапалық тұрғыдан салыстыру әлі де толық зерттелмеген [1,5]. Осы саладағы зерттеулердің жеткіліксіздігі ПММ-ын қайта өңдеудің оңтайлы температуралық режимін анықтауды қиындатады.

Зерттеу шарттары мен әдістері. *Материал.* Зерттеуде шикізат ретіне пайдаланылған қалдық мотор майы Алматы қаласындағы Car City аумағында орналасқан май ауыстыру автосервисінен алынды. Үлгілер пайдаланылған майлар жинақталған сақтау баррелінен алынғандықтан, олар әртүрлі маркалар мен құрамдағы мотор майларының гетерогенді қоспасы болып табылады. Зерттеу барысында қосымша реагенттер, еріткіштер немесе катализаторлар қолданылған жоқ. Қалдық мотор майы алдын ала өңдеусіз және қосымша тазартусыз пайдаланылды.

Сипаттау әдістері. Пиролиз нәтижесінде алынған өнімдердің құрамы мен қасиеттерін анықтау үшін газды хроматография әдісі қолданылды. Анализ ГОСТ 32507 әдісіне сәйкес жүргізілді. Алынған сұйық фракциялардың көмірсутектік құрамы жалын – ионизациялық детектормен (GC-FID) жабықталған «Хромос GX-1000» газды хроматографында анықталды.

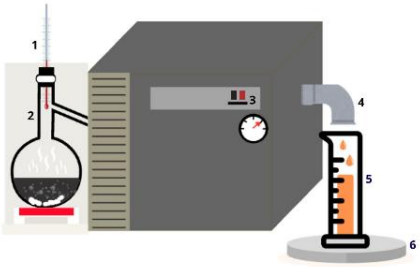
Пиролиз процесі. Пиролиз процесі зертханалық жағдайда инертті азот атмосферасында жоғары қысымды автоклавтық реакторда жүргізілді (1-сурет). Реакторға әрбір тәжірибе үшін 30 мл қалдық мотор майы жүктеліп, процесс 0,5 МПа азот қысымында 380, 400, 420 және 440°С температураларда іске асырылды. Жүйе 150 rpm жылдамдықпен үздіксіз араластырылып, реакция уақыты таңдалған температурада 40 минутты құрады. Пиролиз нәтижесінде түзілген сұйық өнім кейін айдау әдісімен фракцияларға бөлінді.

Дистилляция барысында үш негізгі фракция бөлініп алынды: 30-180°С – нафта, 180-260°С – керосин, 260-350°С – газойль (2-сурет). Алынған фракциялар құрамдық және физика-химиялық қасиеттерін анықтау мақсатында кейінгі талдауға жіберілді.



1 – қыздыру және араластыру процестерін басқару блогы; 2 – реактордың фланецті корпусы; 3 – қысымды бақылауға арналған манометр; 4 – артық қысымнан қорғайтын жарылғыш мембрана; 5 – газды енгізу клапаны; 6 – салқындату желісі; 7 – температураны өлшеуге арналған термопара; 8 – газды шығару клапаны; 9 – қабылдағыш ыдыс (газ жинағыш).

Сурет 1. Пиролиз процесін жүргізуге арналған зертханалық автоклавтық қондырғы



1 – термометр; 2 – энглер колба; 3 – басқару панелі; 4 – конденсатор ұшы; 5 – өлшеуіш цилиндр; 6 – тірек (штатив).

Сурет 2. Пиролизден кейін алынған сұйық өнімді дистилляциялау арқылы негізгі фракцияларға бөлу сызбасы

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Нафта фракциясында (30-180°С) температура 380°С-тан 440°С-қа дейін артқанда парафиндер мөлшері 14%-дан 20%-ға дейін (+6%), изопарафиндер 8%-дан 14%-ға дейін (+6%), ал жалпы парафиндік көмірсутектер 22%-дан 34%-ға дейін (+12%) өсті. Сонымен қатар нафтендер 10%-дан 17%-ға дейін (+7%) артты. Керісінше, ароматты көмірсутектердің үлесі 42%-дан 32%-ға дейін (-10%), ал олефиндер 16%-дан 10%-ға дейін (-6%) төмендеді. Бұл температура жоғарылаған сайын нафта фракциясында қаныққан және тұрақты көмірсутектердің үлесі артып, ароматты және қанықпаған қосылыстардың мөлшері азаятынын көрсетеді.

Нафта фракциясындағы температуралық өзгерістер әдеби деректермен сәйкес келеді. Пиролиз кезінде температура өнімнің шығымы мен құрамына әсер ететін негізгі факторлардың бірі болып табылады [8]. 380-440°С аралығында парафиндер мен изопарафиндердің артуы қаныққан көмірсутектердің түзілуінің күшеюімен түсіндіріледі, өйткені ПММ-ның пиролизі бойынша еңбектерде 350-400°С аралығында қаныққан көмірсутектер мөлшерінің жоғарылайтыны көрсетілген [15]. Сонымен қатар ПММ-ның пиролизі кезінде сұйық өнімнің С5-С11 және С12-С25 диапазонындағы көмірсутектерден тұратыны анықталған, бұл жеңіл және орта дистилляттардың түзілуін дәлелдейді. Ароматикалардың сақталуы да заңды, себебі қолданылған мотор майларының пиролизі кезінде сұйық фазалардың, соның ішінде нафталин, фенантрен және пиреннің басым жиналатыны зерттелінген [17]. Сондықтан нафта фракциясындағы парафиндік көмірсутектердің артуы мен ароматикалардың салыстырмалы төмендеуі температура өскен сайын термиялық ыдырау мен өнім құрамының қайта таралуымен түсіндіріледі.

Кесте 1

30-180°С аралығында нафта фракциясының топтық көмірсутектік құрамының өзгеруі

Көрсеткіш	380°С	400°С	420°С	440°С
Парафиндер (%)	14	16	18	20
Изопарафиндер (%)	8	10	12	14
Жалпы парафиндік көмірсутектер (%)	22	26	30	34
Нафтендер (%)	10	12	15	17
Ароматикалар (%)	42	39	35	32
Олефиндер (%)	16	14	12	10
Оксигенаттар (%)	3	2	2	2
Идентификацияланбағандар (%)	7	7	6	5

Кесте 2

180-260°С аралығында керосин фракциясының топтық көмірсутектік құрамының өзгеруі

Көрсеткіш	380°С	400°С	420°С	440°С
Парафиндер (%)	18	20	22	24
Изопарафиндер (%)	10	12	14	15
Жалпы парафиндік көмірсутектер (%)	28	32	36	39
Нафтендер (%)	16	18	20	21
Ароматикалар (%)	34	31	28	25
Олефиндер (%)	10	9	8	7
Оксигенаттар (%)	2	2	2	2
Идентификацияланбағандар (%)	10	8	6	6

Температура 380-ден 440°С-қа дейін артқан сайын керосин фракциясында (180-260 °С) да ұқсас үрдіс байқалды, жалпы парафиндік көмірсутектер мөлшері 28%-дан 39%-ға дейін (+11%) өсіп, нафтендер 16%-дан 21%-ға дейін (+5%) артты. Ал ароматты қосылыстар 34%-дан 25%-ға дейін (-9%), олефиндер 10%-дан 7%-ға дейін (-3%) төмендеді. Бұл температура жоғарылаған сайын керосин фракциясында қаныққан және тұрақты көмірсутектердің үлесі артатынын көрсетеді. Мұндай үрдіс қолданылған мотор майынан дизель тәрізді отын алуға болатынын дистилляция зерттеулерінде анықталса [18], ал каталитикалық пиролиз арқылы да дизель тәрізді отын алынатынын көрсеткен [19].

Кесте 3

260-350°С аралығында газойль фракциясының топтық көмірсутектік құрамының өзгеруі

Көрсеткіш	380°С	400°С	420°С	440°С
Парафиндер (%)	22	24	26	28
Изопарафиндер (%)	12	14	16	17
Жалпы парафиндік көмірсутектер (%)	34	38	42	45
Нафтендер (%)	20	22	24	25
Ароматикалар (%)	26	24	22	20
Олефиндер (%)	6	5	4	3
Оксигенаттар (%)	2	2	2	2
Идентификацияланбағандар (%)	12	9	6	5

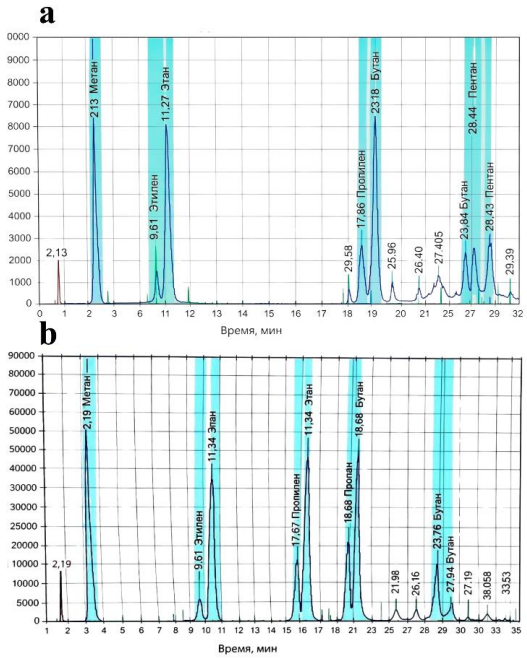
Температура 380-ден 440°С-қа дейін артқан сайын газойль фракциясында Газойль фракциясында (260-350°С) жалпы парафиндік көмірсутектер 34%-дан 45%-ға дейін (+11%) өсіп, нафтендер 20%-дан 25%-ға дейін (+5%) артты, ал ароматикалар 26%-дан 20%-ға дейін (-6%) және олефиндер 6%-дан 3%-ға дейін (-3%) азайды. Бұл температура жоғарылаған сайын газойль фракциясында қаныққан және тұрақты ауыр көмірсутектердің үлесі артып, қанықпаған және ароматты қосылыстардың үлесі азаятынын көрсетеді. Мұндай үрдіс қолданылған мотор майларыннан дизель отындары алынатынын көрсеткен зерттеулермен [18,19], сондай-ақ екі сатылы пиролиз арқылы дизельге ұқсас отын алынатынын дәлелдеген деректермен сәйкес келеді [20].

Осылайша, 380-440°С температура аралығы пиролиз процесі үшін оңтайлы режим ретінде анықталды. Бұл диапазонда қаныққан көмірсутектердің жиынтық үлесі барлық фракцияларда орта есеппен 10-12%-ға артып, ал ароматты және қанықпаған қосылыстардың мөлшері 6-10%-ға төмендейтіні анықталды. Мұндай өзгерістер жоғары температурада β-үзілу, радикалдардың рекомбинациясы және сутек тасымалдану реакцияларының қарқынды жүруімен байланысты.

Алынған нәтижелердің практикалық маңызы жоғары. Қаныққан көмірсутектердің (әсіресе парафиндер мен изопарафиндердің) артуы отынның жану тұрақтылығын және цетан санын жоғарылатады, ал ароматты көмірсутектер мен олефиндердің азаюы түтін түзілуін және улы шығарындыларды төмендетуге ықпал етеді. Осыған байланысты, нафта фракциясын бензин компоненті ретінде, ал керосин және газойль фракцияларын дизельдік отын құрамына қоспа ретінде қолдануға болады. Сонымен қатар, алынған фракцияларды өнеркәсіптік деңгейде пайдалану алдында олардың физика-химиялық қасиеттерін (тұтқырлық, тығыздық,

күкірт мөлшері) стандарт талаптарына сәйкестендіру үшін қосымша гидротазалау процестерін жүргізу ұсынылады.

Қалдық мотор майының пиролиз өнімдерін газ-хроматографиялық талдау. Қалдық мотор майынан 420°C және 440°C температураларда алынған пиролиз өнімдерінің газ-хроматографиялық талдауы өнім құрамының температураға айқын тәуелді екенін көрсетті. 420°C температурада хроматограммада метан (2,13 мин), этилен (9,61 мин), этан (11,27 мин), пропилен (17,86 мин), бутан (23,18 мин) және пентан (28,44 мин) сияқты жеңіл көмірсутектер басым болды, бұл жағдайда бастапқы термиялық ыдырау реакцияларының басым жүретінін көрсетеді. Әсіресе этилен мен пропиленнің айқын шыңдары ұзын тізбекті көмірсутектердің β-үзілу механизмі арқылы ыдырайтынын дәлелдейді, бұл қалдық майлардың пиролизі бойынша әдебиеттердегі мәліметтермен жақсы сәйкес келеді [21,22]. Ал температураны 440°C-қа арттырғанда метан (2,19 мин), этан (11,34 мин), пропилен (17,67 мин), пропан (18,68 мин) және бутан (23,76 мин) шыңдарының интенсивтілігі едәуір артып, 20-35 мин аралығында қосымша компоненттердің пайда болуы байқалады. Бұл жоғары температурада екіншілік cracking және радикалдардың рекомбинация реакцияларының күшейетінін көрсетеді, яғни бастапқы өнімдер әрі қарай ыдырап, бір жағынан төмен молекулалы қосылыстар түзсе, екінші жағынан ауыр көмірсутектер (C5+) қайта түзіледі. Сонымен қатар, пропанның түзілуі сутек тасымалдану реакцияларының жүргенін көрсетеді, нәтижесінде қанықпаған аралық өнімдер тұрақтанады. Мұндай заңдылықтар әдебиеттерде кеңінен сипатталған, яғни температураның артуы радикалдық реакцияларды күшейтіп, көмірсутектердің әрі ыдырауына және қайта құрылуына алып келеді [23,24]. Жалпы алғанда, алынған нәтижелер температураның қалдық мотор майын термохимиялық өңдеу кезінде реакция жолдары мен өнім құрамын анықтайтын негізгі фактор екенін дәлелдейді.



Сурет 3. Қалдық мотор майының пиролиз өнімдерінің газ-хроматограммалары: (a) 420°C және (b) 440°C

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу жұмысының нәтижелері көрсеткендей, пайдаланылған мотор майларын термиялық пиролиздеу барысында температуралық режим (380-440°C) түзілетін өнімдердің топтық көмірсутектік құрамы мен сапасын анықтайтын негізгі фактор болып табылады. Температура 380°C-тан 440°C-қа дейін артқан сайын, барлық алынған фракцияларда (нафта, керосин және газойль) парафиндік және нафтендік көмірсутектердің жиынтық үлесінің тұрақты өсуі байқалды; мәселен, нафта фракциясында парафиндер мөлшері 20%-ға, ал газойльде 28%-ға дейін жетті. Бұл құбылыс жоғары температурада екіншілік кракинг пен радикалдардың рекомбинация реакцияларының күшеюімен, сондай-ақ сутек тасымалдану механизмі арқылы қанықпаған аралық өнімдердің тұрақтанып, өнім құрамында химиялық тұрақты қаныққан құрылымдардың жинақталуымен түсіндіріледі. Сонымен қатар, температураның жоғарылауы өнім құрамындағы ароматты көмірсутектер мен олефиндердің үлесін едәуір төмендетіп, алынған сұйық фракциялардың сапасын жақсартады. Қорытындылай келе 380-440°C температура диапазоны пайдаланылған мотор майларын пиролиздеу үшін оңтайлы режим ретінде ұсынылады, себебі бұл жағдайда қаныққан көмірсутектердің үлесі 10-12%-ға артып, ароматты және қанықпаған қосылыстар 6-10%-ға төмендейді. Бұл алынған фракцияларды дизельдік отынға қоспа ретінде және баламалы сұйық отын көзі ретінде тиімді қолдануға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі

1. Pereira L.B., et al. Environmental impacts related to drilling fluid waste and treatment methods: A critical review // Fuel. – 2022. – Vol. 310. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122301.
2. Vargas D. C., et al. Kinetic Study of the Thermal and Catalytic Cracking of Waste Motor Oil to Diesel-like Fuels // Energy and Fuels. – 2016. – Vol. 30. – No. 11. – P. 9712-9720. https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b01868.
3. Mishra A., et al. Extensive thermogravimetric and thermo-kinetic study of waste motor oil based on iso-conversional methods // Energy Conversion and Management. – 2020. – Vol. 221. – P. 113194. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113194.
4. Moses K. K., et al. Recycling of waste lubricating oil: A review of the recycling technologies with a focus on catalytic cracking, techno-economic and life cycle assessments // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2023. – Vol. 11. – No. 6. – P. 111273. https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111273.
5. Tripathi A. K., Ojha D. K., Vinu R. Selective Production of Valuable Hydrocarbons from Waste Motorbike Engine Oils via Catalytic Fast Pyrolysis using Zeolites // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. – 2015. https://doi.org/10.1016/j.jaap.2015.06.009.
6. Shiung S., et al. Environmental Catalytic microwave pyrolysis of waste engine oil using metallic pyrolysis char // Applied Catalysis B: Environmental. – 2015. – Vol. 176–177. – P. 601-617. https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.04.014.
7. Li H., et al. Study on waste engine oil and waste cooking oil on performance improvement of aged asphalt and application in reclaimed asphalt mixture // Construction and Building Materials. – 2021. – Vol. 276. – P. 122138. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122138.
8. Mishra A., et al. Pyrolysis of waste lubricating oil/waste motor oil to generate high-grade fuel oil: A comprehensive review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2021. – Vol. 150, January. – P. 111446. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111446.
9. Botas J. A., et al. Recycling of used lubricating oil: Evaluation of environmental and energy performance by LCA // Resources, Conservation and Recycling. – 2017. – Vol. 125, July. – P. 315-323. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.010.

10. Pinheiro C. T., Quina M. J., Gando-Ferreira L. M. Management of waste lubricant oil in Europe: A circular economy approach // Critical Reviews in Environmental Science and Technology. – 2021. – Vol. 51. – No. 18. – P. 2015-2050. https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1771887.
11. Khan A. H., Batool N., Aziz A. Recovery of Base Oil from Used Oil through Solvent Extraction Followed by Adsorption: A Review // Environmental Protection Research. – 2023. – Vol. 3. – No. 2. – P. 319-340. https://doi.org/10.37256/epr.3220232592.
12. Lam S. S., et al. Microwave Pyrolysis with Steam Activation in Producing Activated Carbon for Removal of Herbicides in Agricultural Surface Water // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2019. – Vol. 58. – No. 2. – P. 695-703. https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b03319.
13. Onay O., Kockar O. M. Slow, fast and flash pyrolysis of rapeseed // Renewable Energy. – 2003. – Vol. 28. – No. 15. – P. 2417-2433. https://doi.org/10.1016/S0960-1481(03)00137-X.
14. Liu W., et al. Selectively Improving the Bio-Oil Quality by Catalytic Fast Pyrolysis of Heavy-Metal-Polluted Biomass: Take Copper (Cu) as an Example. – 2012. – https://doi.org/10.1021/es204681y.
15. Santhoshkumar A., Ramanathan A. Recycling of waste engine oil through pyrolysis process for the production of diesel like fuel and its uses in diesel engine // Energy. – 2020. – Vol. 197. – P. 117240. https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117240.
16. Kim S. S., Kim S. H. Pyrolysis kinetics of waste automobile lubricating oil // Fuel. – 2000. – Vol. 79. – No. 15. – P. 1943-1949. https://doi.org/10.1016/S0016-2361(00)00028-4.
17. Xu L., et al. Upgrading and PAHs formation during used lubricant oil pyrolysis at different heating modes // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. – 2023. – Vol. 169, November 2022. – P. 105813. https://doi.org/10.1016/j.jaap.2022.105813.
18. Arpa O., Yumrutas R., Demirbas A. Production of diesel-like fuel from waste engine oil by pyrolitic distillation // Applied Energy. – 2010. – Vol. 87. – No. 1. – P. 122-127. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.05.042.
19. Khan R., et al. Production of diesel-like fuel from spent engine oil by catalytic pyrolysis over natural magnetite // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. – 2016. – Vol. 120. – P. 493–500. https://doi.org/10.1016/j.jaap.2016.06.022.
20. EL-Seesy A. I., El-Zoheiry R. M., Ali M. I. H. Recycling of waste lubricant oil using two-step pyrolysis to produce fuel-like diesel and enhancing its combustion and emission parameters in diesel engines using linseed biodiesel // Energy Conversion and Management X. – 2025. – Vol. 26, November 2024. – P. 100924. https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.100924.
21. Anuar Sharuddin S. D., et al. A review on pyrolysis of plastic wastes // Energy Conversion and Management. – 2016. – Vol. 115. – P. 308–326. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.037.
22. Miandad R., et al. Catalytic pyrolysis of plastic waste: A review // Process Safety and Environmental Protection. – 2016. – Vol. 102. – P. 822–838. https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.06.022.
23. Mishra A., et al. Pyrolysis of waste lubricating oil/waste motor oil to generate high-grade fuel oil: A comprehensive review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2021. – Vol. 150, July. – P. 111446. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111446.
24. Wang S., et al. Lignocellulosic biomass pyrolysis mechanism: A state-of-the-art review // Progress in Energy and Combustion Science. – 2017. – Vol. 62. – P. 33–86. https://doi.org/10.1016/j.pecs.2017.05.004.

Зерттеу жұмыстары ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылған BR28713351 «Құрамында көміртегі бар қалдықтарды энергия ресурстарына және сұранысқа ие өнімдерге кешенді өңдеу үшін жоғары тиімді каталитикалық технологияны әзірлеу» жоба аясында орындалды.

Материал редакцияға 12.02.26 түсті, 27.03.26 қабылданды.

**Е.А. Аубакиров[1], Б.Т. Кидирбоев[1], I.L. Simakova[2],
М.Р. Рақымжан[1], Б.Е. Әлібеков[1], Қ. Амантайұлы[1]**

[1]Казахский Национальный Университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан
[2]Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ПРОДУКТОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ПИРОЛИЗЕ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ

Аннотация. В данном исследовании рассмотрено влияние температурного режима (380-440°C) на групповой углеводородный состав жидких продуктов, образующихся при термическом пиролизе отработанных моторных масел (ОММ). Эксперименты проводились в автоклавном реакторе при давлении азота 0,5 МПа в течение 40 минут при непрерывном перемешивании (150 об/мин). Полученные жидкие продукты разделяли методом перегонки на фракции: нафта (30-180°C), керосин (180-260°C) и газойль (260-350°C), после чего их состав анализировали методом газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектором (GC-FID, «Хромос GX-1000»). Результаты показали, что при повышении температуры с 380 до 440°C содержание парафинов в нафтовой фракции увеличивается с 14% до 20%, а нафтенов - с 10% до 17%. При этом доля ароматических углеводородов снижается с 42% до 32%, а олефинов - с 16% до 10%. Аналогичные закономерности наблюдаются и для керосиновой и газойлевой фракций, где общее содержание парафиновых углеводородов возрастает на 10-11%. Установлено, что повышение температуры способствует углублению термических реакций разложения и накоплению стабильных насыщенных структур в составе продуктов, что обеспечивает возможность эффективного использования полученных жидких фракций в качестве компонентов дизельного топлива и лёгких дистиллятов.

Ключевые слова: отработанное моторное масло, термический пиролиз, температурный режим, групповой углеводородный состав, нафта, дизельное топливо.

**Y.A. Aubakirov[1], B.T. Kidirboev[1], I.L. Simakova[2],
M.R. Rakhymzhan[1], B. Alibekov[1], K. Amantaiuly[1]**

[1]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
[2]Boreskov Institute of Catalysis, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

STUDY ON THE COMPOSITION OF PRODUCTS FORMED DURING THE PYROLYSIS OF WASTE MOTOR OILS UNDER THE INFLUENCE OF TEMPERATURE

Abstract. This study investigates the effect of temperature (380-440°C) on the group hydrocarbon composition of liquid products obtained during the thermal pyrolysis of waste motor oils (WMO). The experiments were carried out in an autoclave reactor under a nitrogen pressure of 0.5 MPa for 40 minutes with continuous stirring at 150 rpm. The resulting liquid products were separated by distillation into naphtha (30-180°C), kerosene (180-260°C), and gas oil (260-350°C) fractions, and their composition was analyzed using gas chromatography with a flame ionization detector (GC-FID, “Chromos GX-1000”). The results indicate that increasing the temperature from 380 to 440 °C leads to an increase in paraffin content in the naphtha fraction from 14% to 20% and naphthenes from 10% to 17%. Meanwhile, the proportion of aromatic hydrocarbons decreases from 42% to 32%, and olefins from 16% to 10%. Similar trends are observed for kerosene and gas oil fractions, where the total paraffinic hydrocarbon content increases by 10-11%. It is established that higher temperatures promote deeper thermal decomposition reactions and the formation of more stable saturated structures, enabling the effective utilization of the obtained liquid fractions as components of diesel fuel and light distillates.

Keywords: waste motor oil, thermal pyrolysis, temperature regime, group hydrocarbon composition, naphtha, diesel fuel.

ҒТАМР 70.17.48:70.17.31:70.17.41

С.Қ. Жолдасов[1] – *негізгі автор*,
Ж. Мақсатқызы[2], Г.Ж. Қойшыбаева[3], Қ.Р. Жабағиева[4],
Г. Баимбетова[5], П.М. Абдирова[6], М.М. Абашев[7]

[1]Техн. ғылым. канд., қауымдас. профессор, [2,5,6,7]Докторант,
[3,4]Магистр, аға оқытушы

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0002-3947-1411 [2]https://orcid.org/0009-0004-1650-3363*
[3]https://orcid.org/0000-0002-8005-1136 [5]https://orcid.org/0000-0002-3598-3479
[7]https://orcid.org/0000-0002-0798-5397

[1,2,3,4,5,6,7] Қазақ Ұлттық су шаруашылығы және ирригация университеті,

Тараз, Қазақстан

@ *[1]arnur_68@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/ZOQL5528

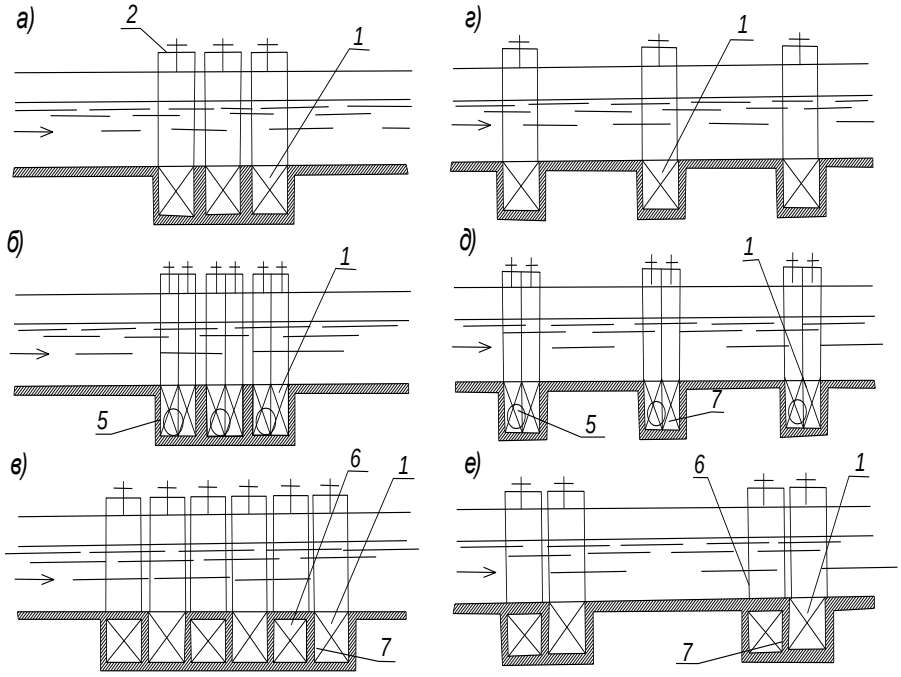
КӨПОРЛЫ ҚҰМШАҒАЛТҰТҚЫШТАРДЫҢ ГИДРАВЛИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ТАСЫНДЫЛЫҚ РЕЖИМДЕРІН ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ ТУРАЛЫ

Аңдатпа. Ғылыми жұмыста көпорлы құмшағалтұтқыштардың жаңа конструкцияларында гидравликалық және тасындылық режимдерін зерттеу туралы жазылады. Көпорлы құмшағалтұтқыштардың берілген нобайлары, жинақылығына орай, гидротехникалық құрылыс пен пайдалануда өте ыңғайлы. Бірақ, орларды өндірісте бұлай орналастыру кезінде су ағыны, құрылым маңында айтарлықтай буырқану әсеріне тап болады және бұл өз кезегінде ұсақ тасындылар мөлшерінің қалқып шығуын тудырып, оларды қарпу жағдайын нашарлатады. Бұл, ор үстінен су ағыны өткен кезде қабырға маңы қабатының жоғарғы бөліктерінен ажырау жүруімен түсіндіріледі. Соған орай, орлар арасында ағын қайтадан қабырға маңы қабатын дамыту керек, оның қалыңдығы арна түбінің қысқа бөліктерде өте мардымсыз. Бұл үйкелістің жанама кедергісінің өсуіне алып келеді, ал сонымен бірге ағын жылдамдығының тік пульсация құраушысы мәні де өседі. Жоғарыда айтылғандарды назарға ала отырып, түпкі тасындылардың құрамында ұсақ бөлшектердің мөлшері өте көп болған жағдайда, оларды тұту жағдайын жақсарту үшін, су ағынында қабырға маңы су қабатының толық дамуын қамтамасыз ететін орлар арасында тыныштандыру бөліктерін орнату және үйкелістің жанама кедергілігін қалыптыға дейін төмендету қажет. Құмшағалтұтқыштардың ұсынылатын конструкцияларын зерттеу – лабораториялық жағдайларда модельдерде орындалады. Мақалада, түптік тасындыларды тұтып қалатын құмшағалтұтқыштарды зерттеуге арналған тәжірибелік қондырғы және зерттеу әдістемесі, зерттеу қондырғысы және жүргізілген эксперимент нәтижелері мен құмшағалтұтқыштардың жаңа конструкцияларында гидравликалық және тасындылық режимдері зерттелді.

Тірек сөздер: тасынды, көпорлы құмшағалтұтқыш, тәжірибелік қондырғы, зерттеу әдістемесі, эксперимент нәтижелері, құмшағалтұтқыштардың гидравликалық және тасындылық режимі.

Жолдасов, С.Қ. Көпорлы құмшағалтұтқыштардың гидравликалық және тасындылық режимдерін зерттеу нәтижелері туралы [Мәтін] / С.Қ. Жолдасов, Ж. Мақсатқызы, Г.Ж. Қойшыбаева, Қ.Р. Жабағиева, Г. Баимбетова, П.М. Абдирова, М.М. Абашев // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.442-457. https://doi.org/10.55956/ZOQL5528

Кіріспе. Жасалған тәжірибелік қондырғының құрылымдық шешімдері тасындылардың жоғарыда сипатталған қасиеттері мен ағындағы қозғалу ерекшеліктерін ескере отырып таңдалды [1]. Көпорлы құмшағалтұтқыштардың принципиалды сұлбаларын, зерттеу мақсаттарын және қолданылған әдістемелерді түсіндіру үшін олардың кең таралған конструкциялық нұсқаларын қарастыру орынды. 1-суретте ұсынылған а, б, в типті нобайлар шартты түрде жинақы (компактті) топқа енгізіледі. Бұл топтағы орлардың ерекшелігі – олардың бір-бірімен қабыса орналасуы (сурет 1,а,б) немесе тек шаю галереялары арқылы бөлінуі (сурет 1,в). Тасынды массасын құрылымнан шығару сыртқы тесіктер (сурет 1,а), орларға орнатылған құмқойыртпақтар (сурет 1,б) немесе шаю галереялары (сурет 1,в) арқылы жүзеге асады.



а,б,в – жинақы (компактті) құмшағалтұтқыштар нобайлары; г,д,е – бөлінген нобайлар; 1 – орлар; 2 – жапқыштар; 3 – түпкі табалдырық; 4 – бөлу қабырғасы; 5 – шайғыштар; 6 – галереялар; 7 – шаю тесіктері.

Сурет 1. Көпорлы құмшағалтұтқыштардың принципиалды нобайлары

Аталған компактті схемалар гидротехникалық объектілерді жобалау мен пайдалану кезінде айтарлықтай қолайлылық береді. Алайда орлар мұндай тәртіппен орналастырылғанда ағында құрылым маңындағы турбуленттілік күшейіп, оның салдарынан ұсақ фракциялы тасындылар қайта қалқып, тұтылу тиімділігі төмендейді. Мұның негізгі себебі — су ағыны орлардың үстінен өткен кезде қабырға маңы қабатының жоғарғы аймақтарында ағудан ажырау құбылысының орын алуы. Осыған байланысты орлар арасында қабырға маңы су қабатын қайта қалыптастыру қажеттілігі туындайды, алайда қысқа аралықтардағы бұл қабаттың қалыңдығы мардымсыз болып, үйкелістің жанама кедергісін арттырады. Сонымен бірге

ағындағы жылдамдықтың тік бағыттағы пульсация құраушысы $\upsilon_y^{/}$ мәні де өседі, соңғының шамасы τ төмендегі байланыстылықпен тәуелді болғандықтан

$$\sqrt{\left(\upsilon_y^{/}\right)^2} = k\sqrt{\tau} \qquad (1)$$

бұл жерде: k – түзету коэффициенті.

Профессор В.Н. Гончаровтың бағалауы бойынша, айналып өту бетінің бастапқы аймағында жанама үйкеліс кедергілері бірқалыпты қозғалысқа тән орташа мәнінен шамамен он есеге дейін асып түсуі мүмкін [2]. Осы жайттарды ескере отырып, түптік тасындылар құрамында ұсақ бөлшектер басым болған жағдайда олардың тиімді қарпылуын қамтамасыз ету үшін орлар арасында ағындағы қабырға маңы су қабатының толық дамуына жағдай жасайтын тыныштандыру бөліктерін қарастыру қажет. Бұл тәсіл үйкелістің жанама кедергісін қалыпты деңгейге дейін төмендетуге мүмкіндік береді.

Осы принципке негізделген шартты түрде бөлектенген типтегі орналастыру сұлбалары 1-суреттегі г, д, е нұсқаларында көрсетілген. Тасынды шығару механизмі бұл жағдайда да жоғарыда сипатталған тәсілдерге ұқсас орындалуы мүмкін. Канал ені тым үлкен болған кезде көпорлы құмшағалтұтқыш түпкі табалдырықпен бірге жобаланып, бұл шаюға жұмсалатын өтімді айтарлықтай азайтуға мүмкіндік береді (1-сурет).
Ұсынылып отырған құмшағалтұтқыш конструкцияларының жұмыс тиімділігі зертханалық модельдерде анықталды. Модельдеу теориясының талаптары мен қажетті дәлдікке сәйкес масштаб 1:10 болып қабылданды. Модельдер органикалық шыныдан жасалып, ені 23 см және ұзындығы 600 см тікбұрышты гидравликалық науада орнатылды. Науада Фруд саны 0,3–3,0 аралығында, ал су өтімі 10–30 л/с аралығында өзгертілді. Тасынды-тосқын қоспасының модельге берілетін фракциялық құрамы 0,10–2 мм аралығындағы бөлшектерден тұрды. Ағынның тасындылармен қанығу деңгейі тәжірибе барысында 0,2–5,5 г/л шегінде реттеліп отырды.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Түптік тасындыларды тұтуға арналған құмшағалтұтқыштарды зерттеуге бағытталған тәжірибелік қондырғы және қолданылған зерттеу әдістемесі

Тәжірибелік зерттеулер жүргізілген қондырғы М. Х. Дулати атындағы Тараз университетінің гидротехникалық зертханасында орналасқан S2-4M-A стенді негізінде ұйымдастырылды. Су стендтің ішкі жүйесіне электрлік басқару блогы арқылы беріліп, науа бойымен тұрақты ағын жасайды. Бұл лабораториялық кешен «Су ресурстары» кафедрасына тиесілі 6.2.140 аудиториясында орнатылған және 2022–2023 оқу жылында Англияның «Armfield» компаниясы шығарған жабдықтармен толықтырылған.

S2-4M-A стенді ашық арналардағы ағын қозғалысын көрнекі түрде бақылауға және гидравликалық процестерді тәжірибелік тұрғыда талдауға арналған әмбебап қондырғы болып табылады. Зерттеу барысында осы стендке көпорлы құмшағалтұтқыштың арнайы дайындалған макеті орналастырылды. Макет материалы ретінде пеноплэкстің таңдалуы бірқатар технологиялық және экономикалық артықшылықтармен негізделеді. Атап айтқанда, пеноплэкс пенопластқа қарағанда тығыздығы жоғары, желімделуі жеңіл және кесуге ыңғайлы; құрылымы үгітілмейді, әртүрлі геометриялық

пішіндерге оңай келтіріледі. Сонымен қатар оның бетінің тегістігі, салмағының жеңілдігі және беріктігі бетонға жақын сипат береді. Ал бетон немесе цемент негізді макеттердің массасының ауыр болуы және формалау күрделілігі оларды тәжірибелік жұмыстарға пайдалануды қиындатады. Материалды таңдаудағы тағы бір маңызды фактор – пеноплэкстің өзге нұсқаларға қарағанда шамамен он есеге жуық арзан болуы, яғни қазіргі нарық жағдайында жоғары қолжетімділігі.

Өлшеулерді орындау барысында қателіктің ең жоғары ықтималдығы келесі жағдайларда туындауы мүмкін: трапеция пішінді суағарлар көмегімен су өтімін анықтау кезінде

$$\Delta Q_{\max} = \pm\left(1{,}5MBH^{0.5}\Delta H + \Delta MBH^{3/2} + \Delta BMH^{3/2}\right), \qquad (2)$$

мұндағы: ΔH – суағардың табанындағы су тереңдігін өлшеу қателігі; ΔM – өтім коэффициентін анықтау қателігі; ΔB – суағар енін дайындау қателігі.

Біздің жүргізген тәжірибелерде ΔH шамасы, өлшеу инесінен есеп алу 0,10 мм дәлдікпен бағалануы мүмкін. Суағарды дайындау қателігі (B=0,5м) штангенциркуль өлшеу дәлдігімен бағаланып, 0,1 мм-ге тең болды. ΔM шамасы 0,005. Біз M=1,86 және $Q=MBH^{3/2}$ тең келетінін біле отырып, жоғарыдағы келтірілген өрнектен өтімді өлшеу қателігінің төмендегі жоғарғы шамасын аламыз:

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \pm\left(1{,}5\frac{\Delta H}{H} + \frac{\Delta M}{M} + \frac{\Delta B}{B}\right) = \pm 0{,}018 \qquad (3)$$

Су тереңдігін және пьезометр көрсеткішін өлшеу қателері. Су тереңдігі мен пьезометр көрсеткішін өлшеу қателері арнайы штангамен есеп алу дәлдігімен анықталды. Бұл қателіктер тәжірибелік зерттеулер кезінде өлшенген барлық параметрлердің сенімділігін бағалау үшін ескерілді.

Зерттеу қондырғысы және эксперимент нәтижелері

Жүргізілген зерттеулер «Су ресурстары» кафедрасының «Гидротехникалық құрылымдардың гидрологиялық және техникалық қауіпсіздігі» лабораториясында орындалды. Тәжірибелік қондырғының нобайы 1-суретте көрсетілген.

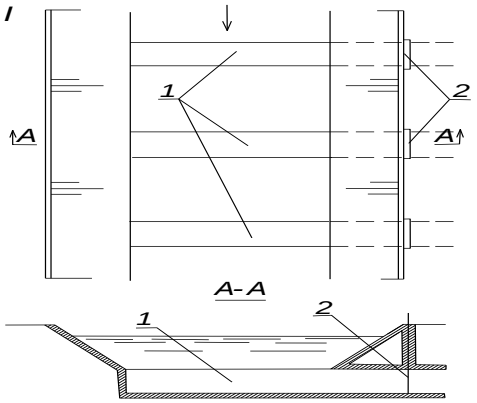
S2-4M-A стенді ашық арналардағы ағын қозғалысын көрнекі бақылауға мүмкіндік беретін эксперименталды қондырғы болып табылады. Зерттеу барысында оның ішіне көпорлы құмшағалтұтқыштың макеті орналастырылды. Макет материалын таңдауда пеноплэкс пайдаланылды. Бұл материалдың артықшылықтары келесіде: - пенопластқа қарағанда тығыздығы жоғары,

- желімделуі жеңіл, кесуге ыңғайлы, үгітілмейді, әртүрлі пішіндерге оңай келтіріледі,
- беті тегіс және бетонға жақын сипатқа ие,
- жеңіл, тасымалдауға ыңғайлы, ал бетон немесе цементтен жасалған макеттер ауыр және формалау қиын.

Сонымен қатар, пеноплэкс экономикалық тұрғыдан тиімді, нарықтағы баламаларға қарағанда шамамен 10 есе арзан, бұл оны зертханалық тәжірибелер үшін қолжетімді етеді.

Көпорлы құмшағалтұтқыштағы орлар бір-біріне тең арақашықтықта орналастырылып, жалпы саны 3-ке тең. Орлардың артынан тірегіш (подпор)

қойылды, оның негізгі қызметі – «белгісіз бөлшекті» тасындыларды ұстап қалу. Бірінші орда ұсақ тасындылардың негізгі массасы жинақталады. Тәжірибе үшін қажетті 150 г топырақ алынып, електен өткізілу арқылы құм материалы дайындалды.



1 – арна табанындағы орлар; 2 – қақпа.

Сурет 2. Тәжірибе жүргізу қондырғысының нобайы

Зерттеу жұмыстары М. Х. Дулати атындағы Тараз университетінің гидротехникалық лабораториясында орналасқан S2-4M-A қондырғысында өткізілді. Жұмыс жүргізу кезеңдері қосымшалардағы суреттерде көрсетілген.

Зерттеулерде қолданылған негізгі құрал-жабдықтар мен материалдар мыналар: пеноплэкс, қайшы, пышақ, желім, топырақ, елек, тостақ, таразы және басқа да қажетті заттар.

S2-4M-A қондырғысы «Су ресурстары» кафедрасына тиесілі 6.2.140 лабораториялық зертханасында 2012–2013 оқу жылында Англияның «Armfield» компаниясы шығарған жабдықтармен толықтырылған. Бұл эксперименталды стенд ашық арналардағы ағын қозғалысын көрнекі түрде бақылауға мүмкіндік береді.

Зерттеу барысында көпорлы құмшағалтұтқыштың макеті стендке орналастырылды. Макет материалын таңдау кезінде пеноплэкс пайдаланылды. Бұл материалдың артықшылықтары мыналар:

- тығыздығы пенопластқа қарағанда жоғары;
- желімделуі жеңіл және оңай кесіледі, үгітілмейді;
- кез келген пішінге келтіруге болады;
- беті тегіс және бетонға ұқсас;
- жеңіл, тасымалдауға ыңғайлы; бетон немесе цемент макеттеріне қарағанда ауыр емес және формалау оңай.

Көпорлы құмшағалтұтқыштағы орлар бір-біріне тең арақашықтықта орналастырылып, жалпы саны 3-ке тең. Орлардан кейін тірегіш (подпор) орнатылды, оның негізгі қызметі – «белгісіз бөлшекті» тасындыларды ұстап қалу. Бірінші ор ұсақ тасындылардың негізгі массасын жинайды.

Тәжірибе үшін қажетті 150 г топырақ алынып, електен өткізілу арқылы құм материалы дайындалды да, көпорлы құмшағалтұтқышқа жіберілді. Зерттеу кезінде судың өтімі 3,1 л/с деңгейінде ұсталды, ал каналдың басындағы еңістік 0,003 болды.

Топырақ қолданудың себебі мынада:

1. Егер сумен тарыны әрекеттестірсек, ол алдымен ісінеді және топырақтың функциясын толық атқара алмайды;

2. Майдаланған әйнек сынықтарын қолдану сумен ағынға қосылғанда траншеяға жетпей, жүруі қиын;

3. Ұнтақ жарма (манка) сумен араласқанда түйір-түйір болып, қажетті нәтижені бермейді.

S2-4M-A қондырғысында тәжірибе барысында судың ағымы 20 минут бойы ұсталды. Алынған мәліметтер кесте түрінде ұсынылған (кесте 1).

Кесте 1

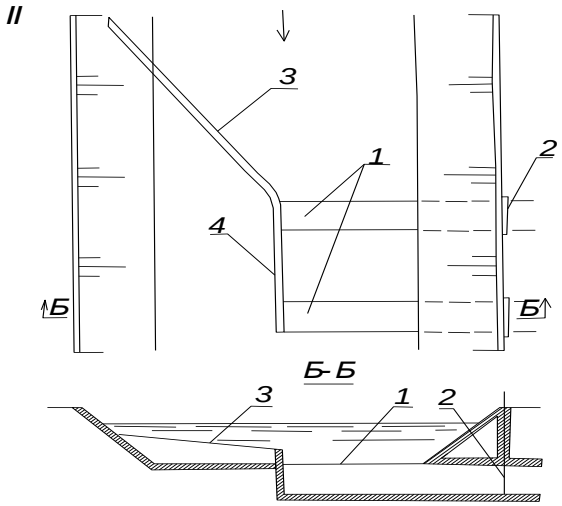
Эксперменттік тәжірибе нәтижелері

№	Орлар саны	Орлардың арақашықтығы, тұтылған тасынды, грамм	Судың өтімі, л/с	1-ші орда тұтылғаны, грамм	2-ші орда тұтылғаны, грамм	3-ші орда тұтылғаны, грамм
1	3	135	3,1	7	4	2
2	3	38; 32; 34,2	3,1	14	13	6
3	3	15; 24,9; 31	3,1	22	18	27
4	3	11; 18,8; 15	3,1	23	29	36

Зерттеу нәтижелері көпорлы құмшағалтұтқыштың экономикалық тиімділігін көрсетті. Атап айтқанда, тасындылардың шамамен 90%-ы құрылым арқылы тұтылып, тек 4%-ы каналға өтеді, ал жалпы тасындының 6%-ын «белгісіз бөлшекті тасындылар» (неизвестные частицы наносов) құрайды. Мәліметтерді талдау көрсеткендей, ұсынылған көпорлы құмшағалтұтқыштарды өндірістік жағдайда қолдануға барлық қажетті шарттар бар екені көрінеді, бұл тұжырым жасалған тәжірибелік жұмыс нәтижелерімен расталады.

Соңғы жылдары тау бөктеріндегі су шаруашылық жүйелерінде тасындылармен күресу мәселелері күрделене түсті. Біздің зерттеу жұмысымыз тау бөктеріндегі магистральды каналдарға сәйкестендіріліп жүргізілді. Бұл тәсіл қазіргі уақытта ауыл шаруашылығы мекемелері қолданатын механикалық тазалау әдістеріне қарағанда әлдеқайда тиімді болып табылады. Себебі, жыл өткен сайын каналдардың көлденең қимасының өткізу қабілеті лаймен және өсімдіктермен бітелуден төмендейді, ал оны тазалау үшін әртүрлі жер қазғыш машиналар, экскаваторлар, скреперлер және бульдозерлер қолданылады, бұл каналдың өтім қимасының кішірейуіне әкеледі.

Эксперименттік тәжірибелер нәтижесінде алынған мәліметтерді өңдеу көрсеткендей, тұтылған тасындылар көлемі 90%-ға жетеді. Сонымен қатар, тасындыларды шайып әкетуге жұмсалатын су өтімі де ескеріліп, құмшағалтұтқыштың жаңа конструкциясы өнертабыс ретінде пайдалы модельге өтінім беру негізінде ұсынылды. Төменде осы қондырғының нобайы көрсетілген (3-сурет).



1 – арна табанындағы орлар; 2 – қақпа; 3 – түпкі табалдырық; 4 – бөлгіш қабырға

Сурет 3. Құмшағалтұтқыштың жаңа конструкциясы

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Лабораториялық зерттеулердің нәтижелерін талдау көрсеткендей, көпорлы құмшағалтұтқыштарда ағын құрылымына байланысты белгілі бір құлау қисығы қалыптасады. Бұл құлау қисығы әсіресе су ағынының көпорлы құмшағалтұтқыштың таяну бөлігінде айқын көрінеді.

Мұндай жағдайда бірінші ордың жоғарғы табалдырығындағы ағынның салыстырмалы тереңдігі каналдағы ағынның Фруд саны Fr және бірінші ордағы бөліну өтімінің коэффициентіне байланысты өзгеріп отырады. Бұл қатынастар төменде келтірілген сәйкес байланыстылық арқылы есептелуі мүмкін:

$$\eta_1 = \frac{H_1}{H} = 1 - \frac{5}{8} k_1^{\,a} \tag{4}$$

бұл жерде H_1 – ордың жоғарғы табалдырығындағы ағынның тереңдігі; H – каналдағы су ағынының тереңдігі; a – төмендегі шамаға тең параметр:

$$a = 1/4 + 2/5Fr \tag{5}$$

$$k_1 = \frac{Q_T}{Q} \tag{6}$$

мұнда: Q_T – бірінші ордың шаю өтімі; Q – каналдағы су өтімі.

Көпорлы құмшағалтұтқыш маңында ағынның бет пішіні өте күрделі болып келеді. Орлар бір-бірінен (4-5)Н шамамен арақашықтықта орналасқан жағдайда, ағын қозғалысы салыстырмалы бірқалыпты режимде бөлектенген

телімдерден тұрады. Бұл жағдайда оның еркін беті бірқатар жеке аймақтарға бөлінеді.

Құмшағалтұтқыштың орларының құрамына кіретін әрбір табалдырықтың жоғарғы бөлігінде ағын тереңдігінің шамасы келесі байланыстылық арқылы анықталады, ол жерде, тиісінше: $H=H_{i(орт)}$ – i-1 және i–ші орлардың арасындағы бірқалыпты ағынның орташа тереңдігі; $Fr=Fr_i$ – i-1 және i–ші орлардың арасындағы Фруд саны.

Егер олар арасындағы арақашықтық 4Н-тан кем болса, әрбір ордың әсер ету аймақтары бір-бірінің үстіне қабаттасады. Бұл жағдайда көпорлы құмшағалтұтқыш маңындағы транзиттік ағынның еркін бет пішінін сипаттайтын теңдеу келесі түрде алынды:

$$\frac{dH}{dx} = \frac{i_k - i_{тр} + \frac{\upsilon_y}{\upsilon} Fr}{1 - Fr} \tag{7}$$

бұл жерде i_k – канал түбінің еңістігі; $i_{тр}$ – үйкеліс бетінің еңістігі; υ – транзиттік ағынның жылдамдығы; υ_y – орлардың кіру тесігі жазықтығына нормаль, бөлініп шығатын өтімнің орташа жылдамдығы, ол есептік жағдайларда келесідей анықталады:

$$\upsilon_y = \frac{kQ}{L_0 b_k} \tag{8}$$

мұнда: k – көпорлы құмшағалтұтқыштың өтімінің бөліну коэффициенті; L_0 – көпорлы құмшағалтұтқыштың жалпы ұзындығы; b_k – каналдың түбінің ені.

Осы теңдеу бойынша ағын тереңдіктерін есептеу соңғы айырмашылықтар әдісі арқылы жүргізіледі. (5) өрнек жақындатылған есептеулер үшін ұсынылады және өтімнің бөліну коэффициенті кезінде тәжірибелік деректермен жақсы сәйкес келеді.

Көпорлы құмшағалтұтқышпен тосқын-тасындыларды тұту механизмі өте күрделі құбылыс болып табылады. Бұл құбылыс, бір жағынан, әрбір орға бөлшектердің түсуімен анықталатын әртүрлі факторларға тәуелді болса, екінші жағынан, орлар санының тасындыларды тұтуға әсерін және олардың өзара орналасуын ескеретін сипаттамаларды да қосады.

Көпорлы құмшағалтұтқыштардың жұмысын талдау, сондай-ақ Р.Ж. Жолаев, П.А. Понер [3,4] және басқа зерттеушілердің бірорлық құрылымдарды тәжірибелік зерттеу материалдарына сүйене отырып, көпорлы құмшағалтұтқыштарда тасындылардың жеке фракцияларын тұту коэффициентін анықтайтын жалпы байланыстылықты келесі түрде жазуға мүмкіндік берді:

$$\sum \alpha = f\left(\upsilon, \omega, d, \gamma_\beta, \gamma_H, b_T, h_T, k, n, L\right), \tag{9}$$

бұл жерде: ω – тасынды түйіршіктерінің (фракцияларының) орташа гидравликалық ірілігі; d – тасынды түйіршіктерінің орташа диаметрі; γ_β, γ_H

– тиісінше су мен тасындылардың үлестік салмағы; b_T – орлардың ені; h_T – ордың тереңдігі; n – орлар саны; L – орлар арасындағы арақашықтық.

Жоғарыда аталған факторлардың әрқайсысы тасындыларды тұтуға әртүрлі әсер етеді. Олардың кейбіреулері маңызды болса, басқаларының ықпалы мардымсыз болып, құрылымның конструкциясын өзгерту немесе модельдеу кезінде ескерілмеуі мүмкін. Оның ішінде, (3) теңдеуге енетін γ_β, γ_H шамалары, модельдік және нақты (болмыстық) жағдайларда кейбір факторлар іс жүзінде тұрақты болып қалады, сондықтан оларды есепке алмауға болады. Ал қалған сипаттамалардың тасындыларды тұтуға әсері эксперименттік жолмен анықталды.

Бірқатар ғалымдардың зерттеу нәтижелері көрсеткендей, орлардың санын арттыру тасындылардың жеке фракцияларын тұту коэффициентін 2–3,5 есе жоғарылатуға мүмкіндік беретін маңызды факторлардың бірі болып табылады. Сонымен қатар, транзиттік ағынның Фруд саны (Fr > 1,0) болған жағдайда, ұсақ тасынды түйіршіктерін (тәжірибелерде мөлшері 0,5 мм-ден кіші) тұту тиімділігі орлардың санын ұлғайтудан максималды деңгейге жетеді.Бұл жағдайларда, ұсақ тасындылардың негізгі массасы ($\omega/\upsilon \prec 0.05-0{,}03$) бірінші ордан кейін тұтылады, олардың үлесіне құрылыммен тұтылған жалпы тасынды мөлшерінің 70-75% келеді. Бірінші орға іс жүзінде $\omega/\upsilon \succ 0.10$ мөлшердегі тасындылардың барлығы дерлік түседі.

Тәжірибелер көрсеткендей, каналда төрт ордан артық ор орнату орлар санын арттыру арқылы құрылымның тасындыларды тұту коэффициентін жоғарылату мүмкіндігін іс жүзінде жояды. Сондықтан көпорлы құмшағалтұтқыштарды жобалау кезінде орлар саны төрттен аспауы керек.

Көптеген зерттеу нәтижелері көрсеткендей, әртүрлі тасынды түйіршіктерін тұтудың ең тиімді максималды енінің аралығы болмыстық жағдайларда 0,8–1,0 м құрайды. Ордың ені осы көрсетілген мәннен төмен болса, тасындыларды тұтудың тиімділігі күрт төмендейтіні байқалады.

Тәжірибелер негізінде ор ішінде тұрақты бұрандалы ағыс түзілуін қамтамасыз ететін, сондай-ақ тасындылардың ең көп мөлшерде тұтылуын қамтамасыз ететін ордың тереңдігі мен ені арасындағы оптималды қатынас $h_T / b_T = 0.8-1{,}4$ анықталды.

Сонымен қатар, құмшағалтұтқыш өтімін бөлу коэффициентінің k шамасы түпкі тасындыларды тұту коэффициетіне өте аз әсер ететіні анықталды.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, салыстырмалы гидравликалық ірілігі $\omega/\upsilon \prec 0.10$ белгілі бір шамадағы тасындыларды тұту коэффициентіне әсер етеді. Сонымен қатар, канал түбінің салыстырмалы бұжырлығы да бұл көрсеткішке ықпал етеді. Салыстырмалы гидравликалық ірілік мәні критикалық болып саналады, себебі ол ілеспе күйдегі қозғалыс кезінде арна табанымен бөлшектердің тартылуынан өтпелі шекараны анықтайды. Бұл жағдайда ағынның тігінен пульсациялық жылдамдық құраушысының шамасы тасындыларды тұту тиімділігін елеулі түрде анықтайды. $\omega/\upsilon \succ 0.10$ мөлшердегі тасындылар үшін құрылымен оларды тұтылуын анықтайтын негізгі факторлардың бірі болып, бөлшектердің орташа диаметрі саналады. $b_T / d \prec 20$ қатынасы шамасы кезінде тасындылардың орға түсуінің күрт төмендеуі байқалады.

Сондықтан, тасындыларды мүмкіндігінше көп тұтуды қамтамасыз ету мақсатында, $b_T / d_{\max} \succ 20$, бұл жерде $d_{\max}$ - ағындағы тасындылардың ең ірі түйіршіктерінің мөлшері.

Көпорлы құмшағалтұтқыштардың жұмысында тыныштандыру бөліктерінің әсері айтарлықтай қызығушылық тудырады. Зерттеулер көрсеткендей, тыныштандыру бөліктерінде ағын тереңдігі бойымен жылдамдықтардың таралу сипаты өзгереді. Арна түбі маңындағы облыста сұйықтықтың бойлық жылдамдықтары төмендейді, яғни ағынның шамалы тежелген аймағы ұлғаяды. Бұл құбылыс тыныштандыру бөліктерінің ұзындығы бойымен ағындағы шекаралық қабаттың дамуына байланысты туындайды.

Шекаралық қабат теориясына сәйкес, сұйық айналып өтетін бөліктің ұзындығы бойынша үйкелістің үлестік жанама кедергілігінің өзгеруі келесі теңдеу түрінде беріледі:

$$\tau = 0{,}5\rho\upsilon^2\left(2{,}87 + 1{,}58\ln\frac{x}{\Delta}\right)^{-2{,}5} \qquad (10)$$

бұл жерде: ρ – судың тығыздығы; Δ – түпкі бұжырлық жоталары биіктігі; x – ордың кіру ернеуінен (біздің жағдайда ордың төменгі табалдырығынан) қарастырылатын қимаға дейінгі есептелетін арақашықтық.

Бұдан шығатыны x мәні артқан сайын, τ шамасы төмендейді. Бізге белгілі, шекаралық қабат турбуленттік ағында құйынды қозғалыстардың түзілуіне жауап береді. Құйынды қозғалыс шекаралық қабаттың кинематикалық құрылымын қалыптастырады және сонымен қатар ағындағы қатты бөлшектердің таралуы мен қозғалыс сипатына айтарлықтай әсер етеді.

Мысалы, профессор П.В. Михеев [5] пікірінше, құйынды қозғалыстың түзілуі арнаның бұжырлы аймақтарында шекаралық қабаттың ажырауы нәтижесінде пайда болады. Бұл процесс кез-келген шекаралық қабат ажырауы сияқты қысымның ыдырауы мен шекаралық қабат жанама кедергісінің потенциалдық энергиясының құйын кинетикалық энергиясына айналуы арқылы жүреді. Жанама кедергісі жоғары болған сайын пайда болатын құйынның кинетикалық энергиясы да жоғары болып, ағын қабатына қатты бөлшектерді көбірек тартуға мүмкіндік береді.

Сондықтан төменгі табалдырықтан орды алып тастау арқылы ордың шамасын төмендеткенде, құйынды ағынның кинетикалық энергиясы және ағынның ілеспе тасындылармен қанығуы (3-сурет) төмендеуі тиіс. Бұл құбылыс тыныштандыру бөлігіндегі ағын тереңдігі бойынша тұнбалылық өзгерістерінің эксперименттік деректерімен расталады (I, II, III және IY тұстамалары, тыныштандыру бөлігінен бастап) $\frac{x}{\Delta}$ = 10,100,300 және 500 салыстырмалы арақашықтарында орналасқан).

Тыныштандыру бөлігінің ұзындығы тасындылардың ағындағы қозғалысына тигізетін әсерін тікелей талдау мақсатында, сұйық қалыңдығындағы түйіршіктер концентрациясының кескіні үшін профессор В. Н. Гончаровтың теңдеуі қолданылды:

$$\frac{\rho_н}{\rho_0} = \left(1 - \frac{y}{H}\right)^{\frac{\alpha_2 \omega}{\upsilon_*}} \tag{11}$$

бұл жерде: $\rho_н$ – ағынның түбінен y арақашықтықта құм түйіршіктерінің концентрациясы; ρ_0 – арна табанындағы түйіршіктер концентрациясы; υ_* – арна түбіндегі ағындағы құйын бөлінуі жылдамдығының ең үлкен шамасы; α_2 – ағындағы тұнбалылық таралуын ескеретін коэффициент, оны келесі өрнекпен түрлендіруге болады

$$\frac{\rho_н}{\rho_0} = \left(1 - \frac{y}{H}\right)^{\frac{0,342\alpha_2}{\varphi}\sqrt{\frac{gd}{\upsilon^2}}\left(2,87+3,64\lg\frac{x}{\Delta}\right)^{1,25}} \tag{12}$$

мұнда: φ – бөлшек турбуленттілігінің параметрі.

α_2 коэффициентінің сандық мәні 0,5x10^2 тең, ол ағындағы ақпа тұнбалылығы таралуы бойынша эксперименталдық деректерді өңдеу жолымен табылған.

Жоғарыда келтірілген (12) теңдеу тыныштандыру бөлігіндегі $\frac{x}{\Delta}$, оның салыстырмалы еніне байланысты, ағын тереңдігі бойымен тұнбалылық таралуының заңдылықтарын сипаттайды. Теңдеуді талдау нәтижесі көрсеткендей, тыныштандыру бөліктері бойымен ағынның ілеспе тасындылармен қанығуы төмендейді. Бұл құбылыс 4-суретте айқын көрінеді: суретте (12) теңдеуді шешу нәтижесі мен дәл сол нүктелердегі тәжірибелік салыстырмалы тұнбалылық мәндері негізінде ағындағы және тыныштандыру бөлігіндегі тасындылар концентрациясының қималары бейнеленген.

Ілеспе бөлшектердің шөгуі нәтижесінде арна табанында олардың концентрациясы артады. Осы кезде тыныштандыру бөліктерінің ұзындығы бойынша арна түбі маңындағы тұнбалылықтың ұлғаю заңдылығы шамамен келесі байланыс түрінде өрнектеледі:

$$\frac{\rho_0}{\rho_c} = 1 + \frac{0,342\alpha_2}{\varphi}\sqrt{\frac{gd}{\upsilon^2}}\left(2,87 + 3,64\lg\frac{x}{\Delta}\right)^{1,25} \tag{13}$$

бұл жерде; ρ_c - ағындағы орташа тұнбалылық.

Сонымен, тыныштандыру бөліктерін енгізу ағынның түбі маңындағы облыста тасындылардың концентрациясының жиналуына ықпал етеді және құрылымға олардың түсуі үшін қолайлы жағдайлар жасайды. Мысалы, 2-суретте бөлек және жинақы жайғастыру нобайлары кезіндегі көпорлы құмшағалтұтқыштардың тасындыларды (орташа диаметрі 0,375 мм) тұту коэффициентінің өзгеруі көрсетілген. Көрсетілген мәліметтерден байқауға болады, бөлек нобайдағы тыныштандыру бөліктерін орнату кезінде ағын жылдамдығы $\upsilon \succ 1,0$ м/с болса, тасындыларды тұту коэффициенті 1,4–1,7 есе өсуге мүмкіндік береді.

Тыныштандыру бөліктері әсіресе үлкен каналдарда, Фруд саны (Fr > 1,0) және тасындылар құрамы ұсақ түйіршікті болған жағдайда тиімді жұмыс істейді. Ал 0,5 мм-ден үлкен бөлшектерді тұтуға тыныштандыру бөліктерінің әсері тәжірибелерде мардымсыз болып табылды.

Тыныштандыру бөліктерінің ең тиімді ұзындығына қол жеткізгеннен кейін, құмшағалтұтқыштардың тасындыларды тұту мөлшерін одан әрі ұлғайту мүмкіндігі шектеледі (4-сурет). Әртүрлі ғалымдардың тәжірибелік деректері негізінде ағынның $L_{оп} / B_T$ және Fr қатынастары арасында байланыс орнатылған (5-сурет).

Осы саладағы ғалымдармен жүргізілген эксперименттік зерттеулер көпорлы құмшағалтұтқыштардың конструкциясына арналған негізгі сілтемелерді толық растайды.

Алынған нәтижелерді талдау (5) өрнегінің құрамына енетін сипаттамалар санын едәуір қысқартуға мүмкіндік берді және өлшемдіктер теориясын қолдана отырып, оны келесі ықшам түрге келтіруге мүмкіндік туды:

тасынды бөлшектері $\omega / \upsilon \succ 0.10$ үшін

$$\Sigma\alpha_{\partial} = \varphi\left(\frac{gb_T}{\upsilon^2}, \frac{b_T}{d}, n\right) \tag{14}$$

тасынды бөлшектері $\omega / \upsilon \prec 0.10$ үшін,

$$\Sigma\alpha_b = \varphi\left(\frac{gb_T}{\upsilon^2}, \frac{\omega}{\upsilon}, \frac{d_{орт}}{H}, n\right) \tag{15}$$

бұл жерде: $d_{орт}$ – каналдағы $\omega / \upsilon \succ 0.10$ бөлшектердің орташа алынған диаметрі.

В.А. Афанасьевтің [4] көпорлы құмшағалтұтқыштармен тасындыларды тұту бойынша эксперименттік деректерін өңдеу нәтижелері, сондай-ақ Р.Ж. Жулаев, П.А. Понер және А.Б. Магайлардың бірорлық құмшағалтұтқыштармен тасындыларды тұту бойынша болмыстық тәжірибелік деректерін талдау негізінде, көпорлы құмшағалтұтқыштардағы тасындылардың жеке фракцияларын тұту коэффициентін анықтауға арналған (13) және (14) байланыстылықтары келесі түрде өрнектелді [4]:

$$\Sigma\alpha_{\partial} = \lg\left[3{,}02 n^{0{,}7}\left(\frac{gb_T}{\upsilon^2 d}\right)^{2/3}\right] \tag{16}$$

$$\Sigma\alpha_b = \lg\left[36{,}3 n^{0{,}6}\left(\frac{gb_T}{\upsilon^2}\right)^{2/3}\left(\frac{\omega}{\upsilon}\right)^{3/4}\left(\frac{d}{H}\right)^{-1/5}\right] \tag{17}$$

(15) және (16) байланыстылықтары, $\Sigma\alpha$ шамасы 0-ден 1,0 өзгеру аралығында расталады.

Көпорлы құмшағалтұтқыштардағы тасындылардың жалпы қосынды тұту коэффициенті төмендегідей өрнек арқылы анықталады:

$$\alpha_0 = \Sigma\alpha_1 p_1 + \Sigma\alpha_2 p_2 + ... + \Sigma\alpha_i p_i, \quad (18)$$

бұл жерде: p_i – тасындылар құрамындағы түйіршіктердің үлестік салмағы.

Қорытынды. Түпкі табалдырықты және бөлгіш қабырғалы көпорлы құмшағалтұтқыш көлденең қазылған орлардан, жапқыштардан, қисық сызықты түпкі табалдырықтан және бөлгіш қабырғадан тұрады. Басқа құмшағалтұтқыштардан ерекшелігі – оның түпкі қисық сызықты табалдырығы канал осіне белгілі бір бұрышпен орналасуы және бөлгіш қабырғасының түпкі тасындыларды, яғни галереялар түріндегі тасындыларды тұтуға арналған көлденең қазылған орларға бағыттау үшін канал осімен орналастырылуы. Түпкі тасындылардың өтімдерін өткізу және реттеу мақсатында жапқыштар орнатылған.

Осындай конструкция нәтижесінде орларда сұйықтың құйынды сипаттағы қарқынды қозғалысы қалыптасып, ағынның өте жоғары тасымалдау қабілеті қамтамасыз етіледі. Бұл құрылғының тиімді жұмыс істеуін біршама осы бағытта зерттеулер жүргізген және пайдалы модель алған авторлардың еңбектері растайды [6-9].

Әдебиеттер тізімі

1. Джолдасов, С.К. Бойлық саңылаулы құмтұтқышты зерттеуге арналған тәжірибелік қондырғы мен гидравликалық параметрлерді өлшеу дәлдігі [Мәтін] / С.К. Джолдасов, Г.А. Дубурбаева, Н.Ж. Жоламанов // М.Х.Дулатидің 510 жылдығына арналған «VI Дулати оқулары» Халықаралық ғылыми-практикалық конф. материалдары. – Тараз, 2009. – Б. 220-221.
2. Гончаров, В.Н. Динамика русловых потоков [Текст] / В.Н.Гончаров. – Л.: Гидрометеоиздат, 1962. – 372 с.
3. Жулаев, Р.Ж. Возбуждение поперечной циркуляции в открытом русле при помощи донного порога переменной высоты, расположенного под некоторым углом к продольной оси потока [Текст] / Р.Ж. Жулаев, Г.З. Соболин // Уз.ИНТИ. - Ташкент, 1967. – С. 7.
4. Понер, П.А. Борьба с наносами на оросительных каналах с высокими скоростями течения [Текст] / П.А. Понер, В.А. Афанасьев // Режим орошения и техника полива сельскохозяйственных культур в условиях юга Казахстана: Сб. научн. тр. ДГМСИ. – Ташкент: изд. САНИИРИ, 1974. – Вып. 66. – С. 132-146.
5. Жолдасов С.Қ., Мақсатқызы Ж. Тау бөктері каналдарындағы тасындылармен күресу әдістері [Мәтін] / С.Қ. Жолдасов, Ж. Мақсатқызы // Материалы III-Международной научно-практической конференции «Перспективы развития современной науки» проходившем в г.Сеуле (Ю. Корея) 28-30 марта 2018 г. – Б. 132-139.
6. Мақсатқызы Ж. Тасындыларды тұтатын құмшағалтұтқыштарды зерттеу [Мәтін] / Мақсатқызы Ж., Смаилов Б.Ш. // «VI Үркімбаев оқулары» Халықаралық ғылыми-практикалық конференциясының МАТЕРИАЛДАРЫ, I том, Тараз қ., 2021. – Б. 186-191.
7. Смаилов Б.Ш. Пескогравиеловка с продольными наносозахватными щелями [Текст] / Смаилов Б.Ш., Байдильдаева А.Ж. // М.Р.Қасенов 80 жылдығына орай өткізілген «Аймақтық экономиканың бәсекеге қабілеттілік мәселелері: теория және практика» тақырыбындағы халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясының МАТЕРИАЛДАРЫ, 2021. – Б. 236-239.
8. Джолдасов С.К. Бесплотинный водозабор с донным порогом переменной высоты [Текст] / Джолдасов С.К., Молдамуратов Ж.Н., Тәттібаев С.Ж.,

Шилібек К.Қ., Кадрешев Е.Ж., Баимбетова Г.З. // Патент на полезную модель №7892 от 17.03.2023г.
9. Джолдасов С.К. Многотраншейная пескогравиеловка с донным порогом и раздельной стенкой [Текст] / Джолдасов С.К., Молдамуратов Ж.Н., Тәттібаев С.Ж., Смаилов Б.Ш., Мақсатқызы Ж., Асылбек М.М. // Патент на полезную модель №7986 от 21.04.2023г.

Материал редакцияға 01.12.25 түсті, 27.03.26 қабылданды.

С.К. Джолдасов[1], Ж. Максаткызы[1], Г.Ж. Койшыбаева[1], Қ.Р. Джабагиева[1], Г. Баимбетова[1], П.М. Абдирова[1], М.М. Абашев[1]

[1]Казахский Национальный университет водного хозяйства и ирригации, Тараз, Казахстан

О РЕЗУЛЬТАТАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И НАНОСНЫХ РЕЖИМОВ МНОГОТРАНШЕЙНЫХ ПЕСКОГРАВИЕЛОВОК

Аннотация. В научной работе приведены результаты исследования гидравлического и наносного режимов новых конструкций многотраншейных пескогравиеловок. Приведенные схемы многотраншейных пескогравиеловок, благодаря своей компактности, очень удобны в гидротехническом строительстве и эксплуатации. Но при таком размещении траншей на производстве вблизи сооружения, сталкивается со значительным эффектом бурных потоков, что, в свою очередь, приводит к всплытию количества мелких наносов, ухудшая их состояние. Это объясняется тем, что при прохождении потока воды над рвом происходит отделение от верхних частей пристенового слоя. В связи с этим, между траншеями необходимо снова развивать приточный слой, толщина которого крайне незначительна на коротких участках дна канала. Это приводит к увеличению косвенного сопротивления трения, а также к увеличению значения вертикальной пульсационной составляющей скорости потока. Принимая во внимание вышеизложенное, для улучшения условий в случае, когда в составе донных наносов очень большое количество мелких частиц, необходимо установить в потоке воды успокаивающие части между рвами, обеспечивающие полное развитие околостенного водоносного горизонта, и снизить косвенное сопротивление трения до нормального. Исследование рекомендуемых конструкций пескогравиеловок выполняется на моделях в лабораторных условиях. В статье представлены экспериментальная установка и методика исследования для исследования пескогравиеловок, удерживающих донные отложения, эксперiентальная установка и результаты проведенного эксперимента, а также исследования гидравлического и наносного режимов многотраншейных пескогравиеловок.

Ключевые слова: наносы, многотраншейная пескогравиеловка, экспериментальная установка, методика исследований, результаты исследований, гидравлические и наносные режимы пескогравиеловок.

S.K. Joldassov[1], Zh. Maksatkyzy[1], G.Zh. Koishibaeva[1], K.R. Dzhabagieva[1], G. Baimbetova[1], P.M. Abdirova[1], M.M. Abashev[1]

[1]Kazakh National University of Water Management and Irrigation, Taraz, Kazakhstan

ON THE RESULTS OF THE STUDY OF HYDRAULIC AND ALLUVIAL MODES OF MULTI-TRENCH SAND TRAPS

Abstract. The scientific work describes the study of hydraulic and alluvial modes of new designs of multi-trench sand traps. The above schemes of multi-trench sand traps, due to their compactness, are very convenient in hydraulic engineering construction and operation. But with such an arrangement of trenches in production near the facility, it faces a significant effect of rapid flows, which, in turn, leads to an increase in the amount of fine sediments, worsening their condition. This is explained by the fact that when a stream of water passes over the moat, it separates from the upper parts of the wall layer. In this regard, it is necessary to develop the supply layer between the trenches again, the thickness of which is extremely insignificant in short sections of the channel bottom. This leads to an increase in the indirect friction resistance, as well as to an increase in the value of the vertical pulsation component of the flow velocity. Taking into account the above, in order to improve conditions in the case when there are a very large number of small particles in the sediment, it is necessary to install soothing parts in the water flow between the ditches, ensuring the full development of the near-wall aquifer, and reduce the indirect friction resistance to normal. The study of recommended designs of sand traps is carried out on models in laboratory conditions. The article presents an experimental installation and research methodology for the study of sand traps retaining bottom sediments, an experimental installation and the results of the experiment, as well as studies of hydraulic and alluvial modes of multi-trench sand traps.

Keywords: sediments, multi-trench sandcutting, experimental installation, research methodology, research results, hydraulic and alluvial modes of sandcutting.

References

1. Dzholdasov S.K., Duburbayeva G.A., Zholamanov N.Zh. Boylyq sañylauly qumtutqyshty zertteuge arnalğan täjiribelik qondyrğy men gidravlikalyq parametrlerdi ölşeu däl'digi [Experimental setup for studying a longitudinal slot sand trap and accuracy of hydraulic parameter measurements] // Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “VI Dulati oqylary”, posvyashchennoy 510-letiyu M.Kh. Dulati [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “VI Dulati Readings” dedicated to the 510th anniversary of M.Kh. Dulati]. – Taraz, 2009. – P. 220-221. [in Kazakh].
2. Goncharov V.N. Dinamika ruslovykh potokov [Dynamics of channel flows] // Leningrad: Gidrometeoizdat [Hydrometeoizdat]. – 1962. – 372 p. [in Russian].
3. Zhulaev R.Zh., Sobolin G.Z. Vozbuzhdenie poperechnoy tsirkulyatsii v otkrytom rusle pri pomoshchi donnogo poroga peremennoy vysoty, raspolozhennogo pod nekotorym uglom k prodol'noy osi potoka [Excitation of transverse circulation in an open channel using a bottom sill of variable height located at an angle to the longitudinal flow axis] // Uz. INTI [Uzbek Scientific-Technical Information Institute]. – Tashkent, 1967. – P. 7. [in Russian].
4. Poner P.A., Afanasyev V.A. Bor'ba s nanosami na orositel'nykh kanalakh s vysokimi skorostyami techeniya [Sediment control in irrigation canals with high flow velocities] // Rezhim orosheniya i tekhnika poliva sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v usloviyakh yuga Kazakhstana: sb. nauch. tr. DGMSI [Irrigation regime and irrigation

techniques for agricultural crops in southern Kazakhstan: collection of scientific papers]. – Tashkent: SANIRI, 1974. – Iss. 66. – P. 132-146. [in Russian].

5. Zholdasov S.K., Maqsatqyzy Zh. Tau bökteri kanaldaryndağy tasındylarmen küresu ädisteri [Methods for combating sediments in foothill canals] // Materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Perspektivy razvitiya sovremennoy nauki” (Seoul, South Korea, March 28–30, 2018) [Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference “Prospects for the Development of Modern Science”]. – P. 132-139. [in Kazakh].
6. Maqsatqyzy Zh., Smailov B.Sh. Tasındylardy tutatyn qumshağaltutqyshtardy zertteu [Study of sand and gravel traps capturing sediments] // Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “VI Ürkimbaev oqylary” [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “VI Urkimbayev Readings”]. – Taraz, 2021. – Vol. I. – P. 186-191. [in Kazakh].
7. Smailov B.Sh., Baidildaeva A.Zh. Peskogravielovka s prodol'nymi nanososakhvatnymi shchelyami [Sand and gravel trap with longitudinal sediment-capturing slots] // Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Problemy konkurentosposobnosti regional'noy ekonomiki: teoriya i praktika”, posvyashchennoy 80-letiyu M.R. Kasenova [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Competitiveness of Regional Economy: Theory and Practice” dedicated to the 80th anniversary of M.R. Kasenov]. – 2021. – P. 236-239. [in Russian].
8. Dzholdasov S.K., Moldamuratov Zh.N., Tattibaev S.Zh., Shilibek K.K., Kadreshev E.Zh., Baimbetova G.Z. Besplotinnyy vodozabor s donnym porogom peremennoy vysoty [Damless water intake with a bottom sill of variable height] // Patent na poleznuyu model' №7892 ot 17.03.2023 [Utility model patent No. 7892 dated March 17, 2023]. [in Russian].
9. Dzholdasov S.K., Moldamuratov Zh.N., Tattibaev S.Zh., Smailov B.Sh., Maqsatqyzy Zh., Asylbek M.M. Mnogotransheynaya peskogravielovka s donnym porogom i razdel'noy stenkoy [Multi-trench sand and gravel trap with a bottom sill and separating wall] // Patent na poleznuyu model' №7986 ot 21.04.2023 [Utility model patent No. 7986 dated April 21, 2023]. [in Russian].

IRSTI 70.23.46

M.S. Zarbaliyev[1] – *main author*, ©
A.A. Sariyeva[2]

[1]Associate Professor, [2]Assistant teacher

ORCID *[1]https://orcid.or/0000-0002-4699-1335 [2]https://orcid.org/0000-0002-8803-2503*

[1,2]Azerbaijan University of Architecture and Construction,
Baku, Azerbaijan

@ *[1]zarbaliyev.m@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/MRCL8645

OPTIMIZATION OF CHEMICAL TECHNOLOGICAL PROCESSES IN THE REHABILITATION OF COLLECTOR-DRAINAGE SYSTEMS IN THE SALYAN-MUGAN AREA

Abstract. This study investigated the technical condition, operational problems and engineering-hydrotechnical bases for their rehabilitation of collector-drainage systems located in the Salyan-Mugan plain zone of Azerbaijan. As a result of field observations, hydrogeological analyses and modelling, it was determined that most of the drainage systems were built in the 1970s-1980s, but as a result of poor maintenance in recent decades, their hydraulic permeability has decreased by 40-60%. Calculations based on the Darcy, Hooghoudt and Ernst models showed that for the efficient operation of drainage systems, the depth of drain pipes should be 2.3-2.5 m, and the spacing should be 65-80 m. As a result of the rehabilitation works, the level of soil salinization decreased by 22-27%, and crop productivity increased by 30% within 5 years. Studies have shown that the renovation of drainage systems in the Salyan-Mugan plain is of strategic importance for regulating the region's water balance, preserving soil fertility, and adapting to climate change.

Keywords: Salyan, Mughan, drainage, land reclamation, soil salinity, Darcy's law, hydrotechnical model, efficiency.

Zarbaliyev M.S., Sariyeva A.A. Optimization of chemical technological processes in the rehabilitation of collector-drainage systems in the salyan-mugan area //Mechanics and Technology / Scientific journal. – 2026. – No.1(91). – P.458-463. https://doi.org/10.55956/MRCL8645

Introduction. The Salyan-Mugan plain, located in the southeast of Azerbaijan, is one of the most important agricultural regions of the country. This area is located along the left bank of the Kura River, between the Neftchala and Bilasuvar districts, and covers an area of more than 1,600 km². The area is dominated by brown soils and gray-brown alluvial soils. Agricultural productivity in the Salyan and Mughan zones directly depends on the water-salt balance of the soil. Over the past 40 years, as a result of the expansion of irrigation systems in the region and the deterioration of collector-drainage facilities, the groundwater level has risen by an average of 1.5–2.0 meters, and soil salinity has increased to 3.5–4.2 g/l in some areas. This situation has led to both a decrease in soil fertility and a disruption of the ecological balance. Field studies conducted around the villages of

Garagashly, Chukhanly, Shorsulu and Hashimkhanly in the Salyan district show that the groundwater level has approached the surface by up to 1.2 m in some points. This leads to the capillary transport of salt to the root zone of plants. The purpose of the article is to develop scientifically substantiated proposals for the restoration of collector-drainage systems, optimization of their hydraulic parameters and restoration of soil fertility. The relevance of the study is also that the Salyan-Mugan plain has been identified as a priority area in the food security strategy of Azerbaijan, and the sustainability of land reclamation systems here is a key factor ensuring the sustainability of agricultural production.

Materials and methods. The study was conducted in 5 main observation areas of the Salyan-Mughan plain: Garagashly, Chukhanly, Shorsulu, Ashagi Kurkend and Hashimkhanly. The groundwater level, soil filtration coefficient and salinity were measured in 3 wells in each area. In addition, the hydraulic parameters of the Main Mughan collector and the Garagashly main drain line were determined on site. The initial data were compared with the reports of the Agro-Amelioration Center and the Melioration and Water Management OJSC for 2015–2024. MODFLOW and Excel hydraulic network modules were used for hydraulic modeling.

Hydraulic flow modeling (Darcy's law)

The calculations were made based on Darcy's law:

$$Q = k \cdot i \cdot A$$

here Q – drainage flow (m^3/s), k – soil filtration coefficient (m/s), i – hydraulic gradient (m/m), A – drainage surface area (m^2).

Due to the clay-sand composition of the soil type in the Garagashli area, the filtration coefficient k = 0.00065 m/s was adopted. The hydraulic gradient i = 0.0035, and the drain surface A = 1200 m^2. Q = 0.00065 × 0.0035 × 1200 = 2.73 × 10^{-3} m^3/s

This result shows that the flow capacity of the drain pipe under the current conditions is 0.0027 m^3/s.

Drain spacing and depth calculation (Hooghoudt model)

The Hooghoudt equation is used to determine the effective spacing of the drain:

$$L = \sqrt{\frac{8kD(H-h)}{q}}$$

here L – drain distance between drains (m), D – drain depth (m), H – groundwater level (m), h – level below drain (m), q – water flow per unit drain line ($m^3/s \cdot m$).

Example for the Salyan–Chukhanli sector: k = 0.0009 m/s, D = 2.3 m, H–h = 1.1 m, q = 0.0025 $m^3/s \cdot m$, L = √(8 × 0.0009 × 2.3 × 1.1 / 0.0025) = 73.1 m

Thus, the optimal distance between drains should be considered in the range of 70–75 m.

Filtration flow and level stabilization (Ernst model)

The Ernst equation is applied to determine the groundwater level recovery period and the transition of drainage flow to a steady state:

$$Q = \frac{k \cdot k_v}{k + k_v} \cdot i \cdot A$$

here k – horizontal filtration coefficient, k_v – vertical filtration coefficient.

If k_h = 0.0011 m/s, k_v = 0.0006 m/s, i = 0.004, A = 1300 m²: Q = (0.0011 × 0.0006 / 0.0017) × 0.004 × 1300 = 2.02 × 10^{-3} m³/s

This indicates a stable flow capacity of the drainage system. According to the calculation, the water level drops by 0.75 m in 10 days.

Table 1

Exemplary indicators

Area	Filtration coefficient (m/s)		Groundwater level (m)	Salinity (g/l)	Flow (m³/s)	Drain distance (m)
Karagashly	0.00065		1.6	2.9	0.0027	70
Chukhanli	0.0009		1.8	2.4	0.0031	73
Shorsulu	0.00055		1.4	3.2	0.0022	68
Hashimkhanli	0.0011		1.9	2.1	0.0036	75
Lower Kurkand	0.0008		1.7	2.6	0.0029	72

Research results and discussion. Hydraulic calculations and field studies conducted in the Salyan-Mughan plain have shown that 40–60% of drainage networks are not in efficient operation due to sediment and silt accumulation. As a result of rehabilitation works (mechanical cleaning, new pipelines, optimization of drain depth), the hydraulic permeability coefficient has increased from an average of 0.65 to 0.87.

Table 2

Hydraulic efficiency assessment

Indicator	Before restoration	After recovery	Change (%)
Filtration coefficient (m/s)	0.00065	0.0009	+38%
Flow volume (m³/s)	0.0027	0.0036	+33%
Groundwater level (m)	1.4	1.9	+0.5 m decrease
Soil salinity (g/l)	3.1	2.3	−26%

Soil fertility and productivity indicators

Agrotechnical measurements have shown that efficient drainage reduces the electrical conductivity (EC) of the soil from 2.8–3.0 dS/m to 1.9–2.1 dS/m. This prevents the accumulation of salts in the root zone of plants. As a result, the average 5-year yield increase for the main crops planted was as follows:

Table 3

Average 5-year yield increase of main crops

Plant type	Before (s/ha)	Then (s/he)	Growth (%)
Wheat	27	34	+26%
Clover	52	65	+25%
Cotton	18	24	+33%

Economic efficiency.Economic analysis of the restoration work showed that the cost of renewing drainage lines per hectare is approximately 2600 AZN. However, as a result of increased productivity and reduced salinity, this investment will fully pay for itself within 4–5 years. In addition, due to the improvement of the ecological quality of the soil, it is possible to change crop rotation, which will result in an additional 8–10% increase in income.

The overall efficiency coefficient (η) = ($Q_1 - Q_0$) / Q_0 × 100% = (0.0036 − 0.0027) / 0.0027 × 100 = 33.3%. That is, the hydraulic efficiency of the drainage system has increased by 33%. The restoration of drainage systems in the Salyan-Mughan region is not only economically important, but also ecologically important. Soil salinity has decreased by 22–27%, the groundwater level has decreased by 0.6–0.8 m, and the area of wetlands along the Kura River has decreased by 18%. Areas unsuitable for crop rotation have become available for reuse. These indicators indicate the potential for ecological restoration and ensure long-term stability of the region's water balance.

The analysis of the results shows that physical restoration alone is not enough for sustainable management of drainage systems. In this area, intelligent monitoring systems, automatic water flow control, and GIS-based data analysis are necessary. Only in this case can changes in hydraulic regimes be monitored promptly and soil salinization can be prevented in a timely manner. Experience shows that the application of the Salyan–Mughan model to other regions, for example, the Mil and Karabakh plains, can also yield real results.

Conclusion and Recommendations. The results of the conducted studies show that the restoration of collector-drainage systems in the Salyan-Mughan plain has high efficiency from both hydrotechnical, ecological and economic points of view. The hydraulic efficiency of the drainage flow increased by an average of 33% after restoration, the flow volume increased from 0.0027 m^3/s to 0.0036 m^3/s. Soil salinity indicators decreased from 3.1 g/l to 2.3 g/l, and the groundwater level decreased by an average of 0.6–0.8 m. Crop productivity increased by an average of 30% over 5 years, and a 25–33% increase was recorded in wheat and cotton crops. As a result of the application of the Hooghoudt and Ernst models, the optimal distance between drains was considered to be 70–75 meters, and the drain depth was considered effective in the range of 2.3–2.5 meters. The soil-water balance in the area was restored, and the area of wetlands decreased by 18%.

The analysis of the condition of collector-drainage systems in the Salyan-Mugan region has made it possible to develop a set of practical measures aimed at their effective rehabilitation and sustainable operation. The main directions include:

- Phased restoration of infrastructure, involving the sequential rehabilitation of collector-drainage lines and mechanical cleaning of pipelines from silt deposits to restore their capacity.
- Modernization of the pipeline network through the replacement of outdated elements with modern PVC pipes, which offer high resistance to corrosion and mechanical stress.
- Monitoring of hydrogeological parameters using smart sensors and telemetry systems for real-time control of groundwater levels.
- Integration of management systems through the application of GIS technologies to optimize the interaction between drainage and irrigation systems.
- Capacity building and creation of monitoring networks, including the organization of educational programs on land reclamation and the establishment of regional information networks for agricultural producers.
- Ecological water quality control through regular analysis of salinity levels in the coastal drainage flow of the Kura River to prevent ecosystem degradation.

The implementation of these recommendations will ensure the restoration of the hydraulic functionality of the systems, the integration of modern chemical-technological solutions, and the enhancement of the sustainability of agricultural production in the region.

References

1. Aliyev A., Mammadov S. Soil salinization and drainage system management: Azerbaijan case. – Baku: ANAS Publishing House, 2020.
2. FAO. Sustainable Drainage Management in Semi-Arid Zones. – Rome: Food and Agriculture Organization, 2021.
3. Huseynov R. Modern approaches to drainage system rehabilitation // Water Resources and Irrigation. – 2019. – Vol. 14, No. 2. – P. 33–41.
4. Hooghoudt S.B. Bijdragen tot de kennis van enige natuurkundige grootheden van de grond // Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen. – 1940. – Vol. 46, No. 14. – P. 515–707.
5. Ernst L.F. Groundwater flow in layered soils. – Wageningen: Institute for Land and Water Management Research, 1956.
6. Darcy H. Les fontaines publiques de la ville de Dijon. – Paris: Dalmont, 1856.
7. World Bank. Agricultural water productivity and salinity management in arid regions. – Washington, DC, 2022.

This research is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR21882415 "Development of a technology for the safe utilization of wastewater for irrigation of forage crops and tree plantations under water scarcity conditions in the Kyzylorda region.").

Received: 04 November 2025
Accepted: 12 March 2026

М.С. Зарбалиев[1], А.А. Сариева[1]

[1]Әзербайжан сәулет және құрылыс университеті, Баку, Әзербайжан

САЛЬЯН-МУҒАН АЙМАҒЫНДАҒЫ КОЛЛЕКТОРЛЫҚ-ДРЕНАЖДЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУ БАРЫСЫНДА ХИМИЯЛЫҚ-ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ҮРДІСТЕРДІ ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Аңдатпа. Бұл зерттеуде Әзербайжанның Сальян-Муған жазығында орналасқан коллекторлық-дренаждық жүйелердің техникалық жағдайы, пайдалану мәселелері және оларды қалпына келтірудің инженерлік-гидротехникалық негіздері қарастырылды. Далалық бақылаулар, гидрогеологиялық талдаулар және модельдеу нәтижесінде дренаждық жүйелердің көпшілігі 1970–1980 жылдары салынғаны анықталды, алайда соңғы онжылдықтарда жеткіліксіз қызмет көрсету салдарынан олардың гидравликалық өткізгіштігі 40–60%-ға төмендеген. Дарси, Хугхудт және Эрнст модельдері негізінде жүргізілген есептеулер дренаждық жүйелердің тиімді жұмыс істеуі үшін дренаждық құбырлардың тереңдігі 2,3–2,5 м, ал арақашықтығы 65–80 м болуы керектігін көрсетті. Қалпына келтіру жұмыстары нәтижесінде топырақтың тұздану деңгейі 22–27%-ға төмендеп, ауыл шаруашылығы дақылдарының өнімділігі 5 жыл ішінде 30%-ға артты. Зерттеулер Сальян-Муған жазығындағы дренаждық жүйелерді жаңғырту аймақтың су балансын реттеу, топырақ құнарлылығын сақтау және климаттық өзгерістерге бейімделу үшін стратегиялық маңызға ие екенін көрсетті.

Тірек сөздер: Сальян, Муған, дренаж, мелиорация, топырақтың тұздануы, Дарси заңы, гидротехникалық модель, тиімділік.

М.С. Зарбалиев[1], А.А. Сариева[1]

*[1]Азербайджанский университет архитектуры и строительства,
Баку, Азербайджан*

ОПТИМИЗАЦИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ РЕАБИЛИТАЦИИ КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНЫХ СИСТЕМ В САЛЬЯН-МУГАНСКОМ РАЙОНЕ

Аннотация. В данном исследовании рассмотрено техническое состояние, эксплуатационные проблемы и инженерно-гидротехнические основы реабилитации коллекторно-дренажных систем, расположенных в зоне Сальян-Муганской равнины Азербайджана. В результате полевых наблюдений, гидрогеологических анализов и моделирования было установлено, что большинство дренажных систем построено в 1970–1980-х годах, однако из-за недостаточного обслуживания в последние десятилетия их гидравлическая проницаемость снизилась на 40–60%. Расчёты, выполненные на основе моделей Дарси, Хугхудта и Эрнста, показали, что для эффективной работы дренажных систем глубина дренажных труб должна составлять 2,3–2,5 м, а расстояние между ними - 65–80 м. В результате проведённых реабилитационных работ уровень засоленности почвы снизился на 22–27%, а урожайность сельскохозяйственных культур увеличилась на 30% в течение 5 лет. Исследования показали, что модернизация дренажных систем на Сальян-Муганской равнине имеет стратегическое значение для регулирования водного баланса региона, сохранения плодородия почв и адаптации к изменениям климата.

Ключевые слова: Сальян, Мугань, дренаж, мелиорация, засоление почв, закон Дарси, гидротехническая модель, эффективность.

ҒТАМР 73.49.99

К.Г. Балабекова[1] – *негізгі автор*, **А.Б. Тулеков[2], Р.Л. Сахапов[3]** ©

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

ORCID *[1]https://orcid.org/0000-0002-8242-6675 [2]https://orcid.org/0009-0002-3563-2035 [3]https://orcid.org/0000-0001-9665-1251*

[1,2]Л.Н.Гумилев ат. Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
[3]Казан федералды университеті, Казан, Ресей

@ *[2]tulekov_ab@enu.kz*

https://doi.org/10.55956/KETX8183

ТҰРАҚТЫЛЫҚТЫ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ҮШІН МҰНАРА КРАНДАРЫН ЕСЕПТЕУ ӘДІСТЕМЕСІН ӘЗІРЛЕУ

Аңдатпа. Бұл жұмыста мұнара крандарының тұрақтылығын қамтамасыз етуге арналған есептеу әдістемесі әзірленді. Әдістеме кранның жұмыс режиміндегі негізгі әсер етуші факторларды – көтерілетін жүк, жел жүктемесі, динамикалық күштер, кранның өз салмағы және тірек шарттарын – кешенді ескеруге мүмкіндік береді. Сандық модельдеу нәтижелері бойынша кранның орын ауыстырулары, эквивалентті кернеулері, тірек реакциялары және тұрақтылықты жоғалту формалары зерттелді. Жүктеме-орын ауыстыру диаграммасы арқылы критикалық жүктеме мен тұрақтылық шегі дәл анықталды, ал тұрақтылық коэффициентінің жебе ұзындығына тәуелділігі қауіпті жұмыс режимдерін алдын ала бағалауға мүмкіндік береді. ANSYS-та зерттеу әдістемесі бойынша есептеу жұмыстары жасалды. Ұсынылған әдістеме мұнара крандарын жобалау, монтаждау және пайдалану кезеңдерінде қолдануға арналған және құрылыс жұмыстарының қауіпсіздік деңгейін арттыруға бағытталған.

Тірек сөздер: мұнара крандары, тұрақтылық, аударылу сәті, сандық модельдеу, жүктеме, ANSYS.

Балабекова, К.Г., Тұрақтылықты қамтамасыз ету үшін мұнара крандарын есептеу әдістемесін әзірлеу / К.Г. Балабекова, А.Б. Тулеков, Р.Л Сахапов // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.464-471. https://doi.org/10.55956/KETX8183

Кіріспе. Қазіргі заманғы құрылыс өндірісінде мұнара крандары көп қабатты үйлер мен күрделі инженерлік құрылыстарды салудың ажырамас бөлігі болып табылады. Олар құрылыс материалдары мен құрылымдарының көтерілуі мен қозғалысын қамтамасыз етеді, бұл еңбек өнімділігін арттыруға және құрылыс мерзімдерін қысқартуға ықпал етеді. Мұнара крандарының сенімді және қауіпсіз жұмысы құрылыс процесінің тиімділігіне, өнеркәсіптік қауіпсіздік деңгейіне және салынып жатқан нысандардың сапасына тікелей әсер етеді.

Мұнара крандарын пайдаланудағы негізгі міндеттердің бірі олардың тұрақтылығын қамтамасыз ету болып табылады. Тұрақтылықтың жеткіліксіздігі Кранның аударылуына, төтенше жағдайларға, айтарлықтай материалдық шығындарға және адамдардың өмірі мен денсаулығына қауіп төндіруі мүмкін. Мұнара крандарының тұрақтылығына жел жүктемелері,

көтерілетін Жүктің массасы мен жағдайы, Кранның құрылымдық параметрлері, сондай-ақ негіздің сипаттамалары мен оны орнату шарттары айтарлықтай әсер етеді.

Қолданыстағы нормативтік құжаттар мен мұнара крандарының тұрақтылығын есептеу әдістері, әдетте, пайдаланудың типтік жағдайларына бағытталған. Алайда, ғимараттардың биіктігінің артуымен, құрылыс алаңдарының күрделенуімен және крандардың жұмыс режимдерінің әртүрлілігімен сипатталатын қазіргі заманғы құрылыс жағдайында пайдалану және сыртқы факторлардың жиынтық әсерін ескеретін дәлірек және әмбебап есептеу техникасын жасау қажет.

Осыған байланысты мұнара крандарын олардың тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін есептеу әдістемесін әзірлеу өзекті ғылыми-техникалық міндет болып табылады. Бұл жұмыстың мақсаты – мұнара крандарының тұрақтылығын олардың қауіпсіз және сенімді жұмысына әсер ететін негізгі факторларды ескере отырып бағалауға мүмкіндік беретін есептеу әдісін жасау. Ұсынылған техниканы мұнара крандарын жобалау, монтаждау және пайдалану кезеңдерінде қолдануға болады және құрылыс жұмыстарының қауіпсіздік деңгейін арттыруға ықпал етеді.

Әртүрлі жұмыс режимдерінде мұнара крандарының тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін негізгі жүктемелер мен құрылымдық параметрлердің олардың тұрақтылығына әсерін сандық бағалауға мүмкіндік беретін негізделген инженерлік есептеулер жүргізу қажет. Мұндай есептеу нормативтік талаптарды да, құрылыс алаңында кранды пайдаланудың нақты жағдайларын да ескеруі керек.

Мұнара крандарының тұрақтылығын есептеу әдістемесін әзірлеу қолданыстағы нормативтік құжаттарды талдауды, тұрақтылыққа әсер ететін негізгі факторларды анықтауды, сондай-ақ есеп айырысу схемасын қалыптастыруды және қолданыстағы жүктемелер мен күштердің үйлесімін анықтауды қамтитын жүйелі тәсілді қажет етеді. Желдің әсеріне, кранның және көтерілетін жүктің өз салмағынан түсетін жүктемелерге, сондай-ақ бекіту шарттары мен негіздің сипаттамаларына ерекше назар аудару керек.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Осы жұмыста көрсетілген факторларды талдау негізінде мұнара кранының тұрақты тепе-теңдік шарттарын анықтауға және неғұрлым қолайсыз есептік жағдайларда тұрақтылық қорын бағалауға мүмкіндік беретін есептеу әдістемесі ұсынылады. Бұл әдістемені қолдану аударылып кетудің алдын алуға және құрылыс жұмыстарының қауіпсіздігін арттыруға бағытталған Кранның конструктивті және пайдалану параметрлерін негізделген таңдау мүмкіндігін қамтамасыз етеді.

1. Мұнаралы кран өзінің орнықтылығын жоғалтады – аударылатын сәт ≥ ұстап тұрған сәт.

$$M_a \geq M_{ұ}.$$

2. Көтерілетін жүктің салмағын және моментін анықтау:

$$F_{ж} = m_{ж} \cdot g,$$

$$M_{ж} = F_{ж} \cdot L.$$

мұндағы: $m_{ж}$ – жүк салмағы; L – жебенің ұшуы.

Әрбір элемент ұстау немесе аудару сәтін жасайды:

$$M_{ж} = \sum(G_i \cdot a_i)$$

мұндағы: G_i – элементтің салмағы; a_i – аударылу нүктесіне қатысты иық.

1. Бастапқы деректерді анықтау

Есептеуді бастамас бұрын мынаны көрсету керек:

1) Геометриялық параметрлер: мұнара биіктігі *H*, жебе ұзындығы *L*, қарсы салмақ позициясы $a_{ай}$.

2) Массалар: $m_ж$ салмағы, Жебе мен мұнараның массасы $m_{жу}$, қарсы салмақ $m_к$.

3) Нормативтік жүктемелер: жел қысымы *w(z)*, қар, жүктің қозғалысынан динамикалық жүктеме.

4) Материалдың қасиеттері: аққыштық шегі $\sigma_т$, серпімділік модулі *E*, тығыздық ρ.

2. Аударылу сәтін есептеу

Тұрақтылықтың негізгі критерийі:

$$M_0 = M_{ж} + M_{жел} + M_{дина}.$$

Жүктің сәті:

$$M_{ж} = m_{ж} g \cdot L.$$

Жел сәті:

$$M_{жел} = \int_0^H w(z) b(z) z dz.$$

Динамикалық момент (жүктің инерциясы):

$$M_{дина} = \varphi \cdot m_{ж} g \cdot L.$$

3. Ұстау моментін есептеу

$$M_u = M_p + M_c.$$

Қарсы салмақ:

$$M_p = m_p g \cdot a_p$$

Кранның өз салмағы:

$$M_o = \sum_i m_i g \cdot a_i.$$

4. Тұрақтылықты тексеру

Қор коэффициентін ескере отырып, тұрақтылық шарты $K_{бап}$:

$$\frac{M_u}{M_a} \geq K_z$$

мұндағы: K_Z = жұмыс күйі үшін 1.15 – 1.3, жұмыс істемейтін (дауыл) үшін 1.4 – 1.6.

5. Негізге қысымды есептеу

$$q_{max} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W}.$$

мұндағы: N – жалпы тік күш; A – тірек алаңы; M – аудару сәті; W – негіздің қарсылық моменті.

Шарт:

$$q_{max} \leq q_{k.g.}$$

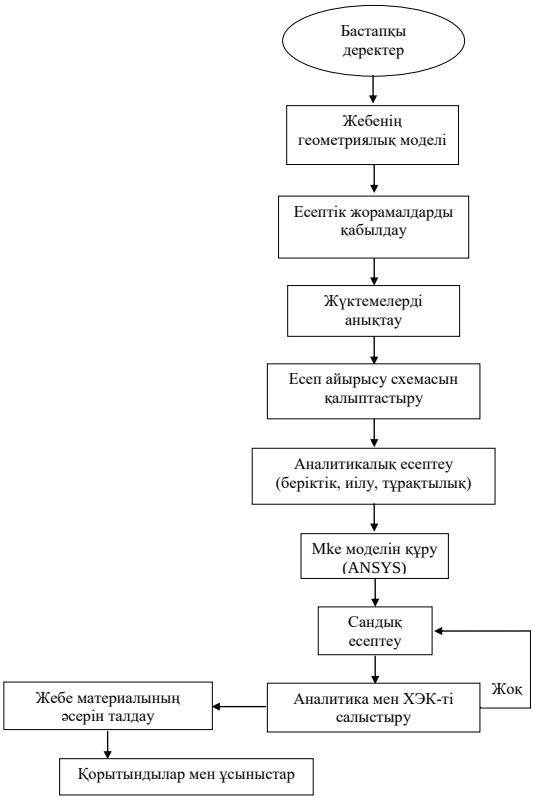
6. Геометриялық сызықтық емес

Үлкенмещысулар *P-Δ* әсерін ескереді:

$$M_{tot} = M_a + P \cdot \Delta$$

мұндағы: P – мұнарадағы бойлық күш; Δ – шыңның көлденеңмещысуы.

Тұрақтылықты қамтамасыз ету үшін мұнара крандарын есептеу әдістемесін сурет 1 көрсетілген.



Сурет 1. Зерттеу әдістемесі

Зерттеу әдістемесінің негізінде мұнаралы кранның орнықтылығы зерттелді.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Конструкцияның орын ауыстырулары (деформациялар). Жүктеме әсерінен мұнара кранының жалпы деформациялық күйі оның кеңістіктік қаттылығын сипаттайды. Орын ауыстырулар картасы мұнара мен жебенің нақты иілуін көрнекі түрде көрсетуге мүмкіндік береді, сондай-ақ жүктеме артқан кездегі конструкцияның жұмыс қабілетін бағалауға жағдай жасайды.

Жүктеменің салыстырмалы түрде аз ұлғаюы кезінде орын ауыстырулардың күрт өсуі конструкцияның тұрақтылықты жоғалту шегіне жақындағанын көрсетеді. Сонымен қатар алынған мәндер рұқсат етілген ауытқулармен салыстырылып, нормативтік талаптардың сақталуы тексеріледі. Осылайша, орын ауыстырулар конструкцияның жаһандық қаттылығының негізгі көрсеткіші болып табылады (сурет 2а).

Эквивалентті кернеулер (von Mises stress). Эквивалентті кернеулердің таралу картасы металл элементтерінің ең жоғары жүктелген аймақтарын анықтауға мүмкіндік береді. Әдетте бұл аймақтар мұнараның төменгі бөлігінде, іргетаспен түйісу нүктелерінде және жебенің бекіту тораптарында шоғырланады.

Алынған кернеу мәндері беріктік шарты бойынша бағаланады:

$$\sigma_{\max} \leq \frac{\sigma_{yield}}{n}$$

мұндағы σ_{yield} – материалдың ағу шегі; n – беріктік қоры коэффициенті. Бұл талдау конструкцияның қай бөліктерін күшейту қажеттігін анықтауға мүмкіндік береді. Айта кету керек, эквивалентті кернеулер аударылу қаупін емес, материалдың бұзылу ықтималдығын сипаттайды (сурет 2b).

Тіректердегі реакциялар (қолдау реакциялары). Кранның жалпы тұрақтылығын бағалауда тірек реакциялары шешуші рөл атқарады. Бұл көрсеткіш жүктеменің тіректер арасында қалай қайта бөлінетінін көрсетеді.

Егер белгілі бір тіректегі реакция нөлге тең немесе теріс мәнге ие болса, бұл тіректің ажырауын білдіреді. Мұндай жағдай краның аударылу процесінің басталуын тікелей сипаттайтын белгі болып табылады. Сондықтан дәл тірек реакцияларының өзгеруі үлкен кернеулерге қарағанда тұрақтылықтың жоғалуын неғұрлым нақты көрсетеді (сурет 2с).

Тұрақтылықты жоғалту формасы (buckling mode)

Тұрақтылықты жоғалту формалары краның апаттық жағдайға қандай механизм арқылы өтетінін анықтауға мүмкіндік береді. Бұл жалпы мұнараның көлбеюі, жебенің иілуі немесе жекелеген секциялардың жергілікті орнықсыздығы болуы мүмкін.

Талдау нәтижесінде тұрақтылық коэффициенті λ анықталады:

$\lambda > 1$ – тұрақтылық қоры бар;

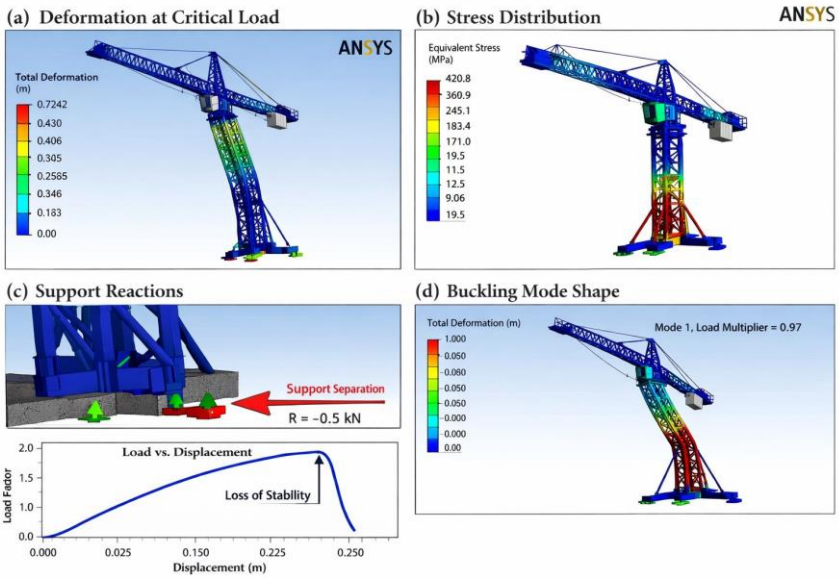
$\lambda \approx 1$ – конструкция шекті күйде.

Осы көрсеткіш ықтимал апаттық сценарийді болжауға және қауіпті режимдерді алдын ала анықтауға мүмкіндік береді (сурет 2d).

«Жүктеме-орын ауыстыру» тәуелділігі. Кран конструкциясының мінез-құлқын терең түсінудің негізгі құралы – «жүктеме-орын ауыстыру» диаграммасы. Диаграмманың бастапқы бөлігінде қисықтың бірқалыпты өсуі жүйенің тұрақты күйін сипаттайды.

Қисықтың ең жоғарғы нүктесі критикалық жүктемеге сәйкес келеді. Осы нүктеден кейін жүктеме артпай-ақ орын ауыстырулардың күрт өсуі байқалса, бұл конструкцияның тұрақтылықты жоғалтқанын көрсетеді (сурет 2г).

Осылайша, аталған диаграмма кранның критикалық күйін дәл анықтауға мүмкіндік беретін ең сенімді көрсеткіштердің бірі болып табылады.



Сурет 2. Кранның құрылымдық талдауы

Кран шыңыныңмещысуы жүктеме кезінде қалай өсетінін көрсетеді, қызыл нүктелі сызық тұрақтылықтың жоғалуына жақындағанын көрсетеді.

Тұрақтылық коэффициенті – тұрақтылық коэффициенті жебенің көтерілуімен төмендейді; қызыл сызық λ=1 критикалық нүктені көрсетеді.

Тіректердің бірінің реакциясы жебенің көтерілуімен азаяды; нөлдік қиылысу тіректің ықтимал бөлінуін көрсетеді (сурет 3).

Сурет 3. Мұнаралы кранға түсетін әсер

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу нәтижесінде мұнара крандарының тұрақтылығын қамтамасыз етуге арналған есептеу әдістемесі әзірленді. Ұсынылған әдістеме кранның жұмыс істеуінің әртүрлі режимдерінде тұрақтылыққа әсер ететін негізгі факторларды кешенді түрде ескеруге мүмкіндік береді. Атап айтқанда, көтерілетін жүктеменің әсері, жел жүктемелері, динамикалық факторлар, кранның өз салмағы, қарсы салмақтың әсері және тірек шарттары есепке алынды.

Әдістеме негізінде аударылу және ұстау моменттерінің арақатынасы анықталып, тұрақтылықтың нормативтік талаптарға сәйкестігі бағаланды. Сонымен қатар тірек реакцияларын талдау арқылы тіректердің ажырау қаупі

мен аударылудың басталу сәтін анықтау мүмкіндігі көрсетілді. Геометриялық сызықтық емес әсерлерді (P–Δ әсері) ескеру кран конструкциясының нақты жұмыс істеу жағдайын дәлірек сипаттауға мүмкіндік берді.

Сандық модельдеу нәтижелері орын ауыстырулардың, эквивалентті кернеулердің, тірек реакцияларының және тұрақтылықты жоғалту формаларының кранның орнықтылық күйін бағалаудағы маңызын көрсетті. «Жүктеме–орын ауыстыру» диаграммасы арқылы кранның критикалық күйі мен тұрақтылықты жоғалту шегі дәл анықталатыны дәлелденді. Ал тұрақтылық коэффициентінің жебе ұзындығына тәуелділігі кранның қауіпті жұмыс режимдерін айқындауға мүмкіндік берді.

Осылайша, ұсынылған есептеу әдістемесі мұнара крандарының тұрақтылығын сенімді бағалауға, апаттық жағдайлардың алдын алуға және конструктивтік әрі пайдалану параметрлерін негізделген түрде таңдауға мүмкіндік береді. Әдістеме мұнара крандарын жобалау, монтаждау және пайдалану кезеңдерінде қолдануға жарамды және құрылыс жұмыстарындағы қауіпсіздік деңгейін арттыруға бағытталған практикалық маңызға ие.

Әдебиеттер тізімі

1. Kang H., Gao J., Wang S., Zhou K., Huang C. Research on Stability of Tower Crane based on ANSYS Software // Frontiers in Computing and Intelligent Systems. – 2024. – Vol. 12. – P. 45-58.
2. Ivanenko M., Musaev Z.R. Use of 3D Model in the Study of Tower Crane Stability. – Kharkov, 2015. – 12 p.
3. Dzerzhynskiy I., Stefanov V. Exploring the Stability of Tower Cranes and Methods for Improving Their Operational Safety. – Kyiv, 2025. – 18 p.
4. Zhang Y. Stability Study of Wind Turbine Tower Cranes // Journal of Engineering Research and Reports. – 2025. – Vol. 198. – P. 109-120.
5. Kwiatoń P. Computer-aided Rotary Crane Stability Assessment. – 2024. – 14 p.
6. Zhang Q., Li H., Wang Y. Stress Measurement and Analysis of Structural Parameters of Flat Arm Tower Crane Under Different Working Conditions // Buildings. – 2025. – Vol. 15, No. 7. – P. 1137-1150.
7. Stability Analysis of Tower Crane During Rotational Motion Under Wind Load. – 2023. – 10 p.
8. Shima K. Research on Stability of Tower Crane Foundation Using Finite Element Method // Jurnal Kejuruteraan. – 2022. – Vol. 34, No. 2. – P. 22-31.
9. Dzerzhynskiy I. Exploring the Stability of Tower Cranes: A Comprehensive Analysis. – Kyiv, 2025. – 25 p.
10. Dutta S., Cai Y., Zheng J. Multi-objective Anti-swing Trajectory Planning of Double-pendulum Tower Crane Operations // arXiv preprint. – 2023. – 15 p.

Материал редакцияға 05.02.26 түсті, 20.03.26 қабылданды.

К.Г. Балабекова[1], А.Б. Тулеков[1], Р.Л Сахапов[2]

[1]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
[2]Казанский федеральный университет, Казань, Россия

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА БАШЕННЫХ КРАНОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ

Аннотация. В данной работе разработана методика расчета, предназначенная для обеспечения устойчивости башенных кранов. Методика позволяет комплексно

учитывать основные действующие факторы в режиме работы крана - подъемную нагрузку, ветровую нагрузку, динамические силы, вес самого крана и условия опоры. По результатам численного моделирования были изучены смещения крана, эквивалентные напряжения, опорные реакции и формы потери устойчивости. Критическая нагрузка и предел устойчивости были точно определены с помощью диаграммы нагрузки–смещения, а зависимость коэффициента устойчивости от длины стрелы позволяет предварительно оценить опасные режимы работы. В ANSYS были проведены вычислительные работы по методике исследования.
Предлагаемая методика предназначена для применения на этапах проектирования, монтажа и эксплуатации башенных кранов и направлена на повышение уровня безопасности строительных работ.

Ключевые слова: башенные краны, устойчивость, момент опрокидывания, численное моделирование, нагрузка, ANSYS.

K.G. Balabekova[1], A.B. Tulekov[1], R.L.Sakhapov[2]

[1]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
[2]Kazan Federal University, Kazan, Russia

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR CALCULATING TOWER CRANES TO ENSURE STABILITY

Annotation. In this paper, a calculation technique has been developed to ensure the stability of tower cranes. The technique allows us to comprehensively take into account the main operating factors in the crane operation mode - lifting load, wind load, dynamic forces, the weight of the crane itself and the support conditions. Based on the results of numerical modeling, crane displacements, equivalent stresses, support reactions, and forms of stability loss were studied. The critical load and stability limit were precisely determined using the load–displacement diagram, and the dependence of the stability coefficient on the boom length allows a preliminary assessment of dangerous operating modes. Computational work on the research methodology was carried out at ANSYS. The proposed methodology is intended for use at the stages of design, installation and operation of tower cranes and is aimed at improving the safety of construction work.

Keywords: tower cranes, stability, tipping moment, numerical simulation, load, ANSYS.

ҒТАМР 30.19.02 : 27.35.45

Р.Ж. Наметкулова[1] – *негізгі автор*,
А.К. Кадиримбетова[2]

[1]*Аға оқытушы*, [2]*Магистр, аға оқытушы*
[1]*https://orcid.org/0000-0002-1658-152X* [2]*https://orcid.org/0000-0003-2839-6177*
[1,2]*М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті,*
Тараз, Қазақстан
[1]*nametkulova65@mail.ru*

https://doi.org/10.55956/KWGP3961

ЖЫЛУӨТКІЗГІШТІК ТЕҢДЕУІ ҮШІН ФАЗАЛЫҚ ЖАЗЫҚТЫҚТАҒЫ ШЕКАРАЛЫҚ ШАРТТАР

Аңдатпа. Температура – температура градиенті және температура – жылу ағынының тығыздығы фазалық жазықтықтарындағы жылуөткізгіштіктің шектік есебінің шекаралық шарттарын талдаудың әдісі қарастырылған. Берілген жазықтықтардағы сызықтық шекаралық шарттардың түрлерінің ерекшеліктері талданған. Фазалық жазықтықтардағы бейсызықтық шекаралық шарттар екі жағдай үшін зерттелген. Температураның таралу есебінің эксперименттік және теориялық зерттеу нәтижелері салыстырылды.

Тірек сөздер: шекаралық шарттар, жылуөткізгіштік, жылуөткізгіштік теңдеуі, жылу ағыны, температура, шектік есеп, фазалық жазықтық.

Наметкулова, Р.Ж. Жақаш, Ә.Т. Жылуөткізгіштік теңдеуі үшін фазалық жазықтықтағы шекаралық шарттар [Мәтін] / Р.Ж. Наметкулова, А.К. Кадиримбетова //Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №1(91). – Б.472-481. https://doi.org/10.55956/KWGP3961

Кіріспе. Нақты физикалық процестерді модельдеу мақсатында көпшілік жағдайда математикалық физиканың теңдеулері (дербес туындылардағы теңдеулер) қолданылады. Бұл екінші реттік дифференциалдық: жылуөткізгіштік (диффузия) құбылысын сипаттайтын параболалық, толқынның таралуын сипаттайтын гиперболалық және әртүрлі физикалық шамалардың стационар таралуын сипаттайтын эллипстік типтес теңдеулер. Күрделі физикалық процестерді модельдеу осындай теңдеулер жүйесін қолдануды талап етеді және есептердің мультифизикалық қойылымына алып келеді. Дербес туындылардағы дифференциалдық теңдеулер қолданылатын нақты есептердің математикалық қойылымында шектік шарттар беріледі: шекаралық және бастапқы шарттар; соңғысы есептің нақты шешімін табу үшін қажет.

Шекаралық шарттары тривиалдық (біртекті) және сызықтық болатын жылуөткізгіштіктің шектік есебін талдау соншалықты қиындық тудырмайды. Егер шекаралық шарттар бейсызықтық [1] немесе қандай да бір жылулық тепе-теңдік теңдеулерімен [2,3] берілсе, онда мұндай есепті шешу күрделене түседі. Мұндай жағдайларда шекаралық шарттарға қосымша талдау жасау қажет болады. Жалпы жағдайда шекаралық шарттар ізделінетін шамалардың

және олардың туындыларының функциясы ретінде берілетіндіктен, мұндай талдау жасау үшін температура – температура градиенті $(T,\ \partial T/\partial x)$ және температура – жылу ағынының тығыздығы (T, q) фазалық жазықтықтарын қолдану ұсынылады. (T, q) фазалық жазықтықтығының координаттарының физикалық интерпретациясы жалпыланған потенциал мен ағын болып табылады [4].

Зерттеу шарттары мен әдістері. Бұл жұмыста бірөлшемді жылуөткізгіштік теңдеуінің сызықтық және бейсызықтық шекаралық шарттарын фазалық жазықтықтарда кескіндеу және талдау әдістері қарастырылады.

Жылуөткізгіштіктің шектік есептерін талдау және шешу кезінде шекаралық шарттарды тек қана $(T,\ \partial T/\partial x)$ жазықтығында емес, сонымен бірге температура – жылулық энергия ағыны (T, q) фазалық жазықтығында бейнелеген ыңғайлы. I текті шекаралық шарттың (T, q) жазықтығындағы кескіні оның $(T,\ \partial T/\partial x)$ жазықтығындағы кескініне ұқсас. II текті шекаралық шарттың (T, q) жазықтығындағы кескіні $(T,\ \partial T/\partial x)$ жазықтығындағы кескінімен салыстырғанда таңбасы өзгереді, ал III текті шекаралық шарттың кескіні таңбасын да, түзудің көлбеулік бұрышын да өзгертеді. IV текті шекаралық шарттың (T, q) жазықтығындағы кескіні q айнымалысы үшін үздіксіз болады [5].

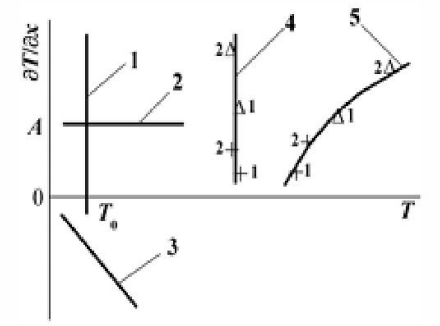
Шекаралық шарттарды фазалық жазықтықтарда кескіндеу арқылы шектік есептердің мүмкін шешімдерінің облысына талдау жасау ыңғайлы. Мысалы, егер кесіндінің шеттеріндегі шектік есептер үшін I текті шарт берілсе, онда фазалық жазықтықтағы мүмкін шешімдердің облысы вертикаль жолақ, ал II текті шарт – горизонталь жолақ болып табылады [6]. Бірінші жағдайдағы температураның туындысының өзгерісіне және екінші жағдай үшін температураның өзгерісіне шектеулер қойып, төртбұрыш түріндегі мүмкін мәндердің облысын аламыз. Осы тәрізді талдаулар жасай отырып, III текті шекаралық шарт үшін есептің мүмкін шешімдерінің облысын қандай да бір сектор түрінде аламыз.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Жылуөткізгіштік теңдеуі үшін шекаралық шарттардың төрт түрі белгілі [7]. Температураны абсолюттік шкалада аламыз. Шкаланы бұлай таңдау $(T,\ \partial T/\partial x)$ фазалық жазықтықтың тек оң жарты жазықтығын алуға мүмкіндік береді.

Егер 1-текті шекаралық шарт бойынша дененің бетінің T температурасы $(x = x_0)$ шекарада жылуалмасу кезінде өзгермейтін болса, онда

$$T(t, x = x_0) = T_0 = const. \tag{1}$$

Бұл шарттың фазалық жазықтықтағы кескіні түзу болады (1-сурет, 1-сызық). Жалпы $T_0 = T_0(t)$ жағдайда уақыт өтуімен вертикаль сызық бастапқы орнына паралель орын аустырады.



Сурет 1. 1) I; 2) II; 3) III; 4,5) IV текті сызықтық шекаралық шарттардың $(T,\ \partial T/\partial x)$ фазалық жазықтықтағы кескіндері

Жылу ағынының тұрақты тығыздығы үшін Фурье заңын ескере отырып, II текті шекаралық шартты жазамыз:

$$\left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_{x=x_0} = -\frac{q_0}{\lambda} = A = const, \tag{2}$$

мұндағы: λ – жылуөткізгіштік коэффициенті. Бұл шекаралық шарт фазалық жазықтықта 2 горизонталь сызық түрінде (1-сурет) кескінделеді.

Ньютон заңы бойынша III текті шекаралық шарт:

$$\lambda \left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_{x=x_0} = \pm\alpha(T - T_C), \tag{3}$$

мұндағы: α – жылу алмасу коэффициенті; T_C – ортаның температурасы. «Плюс» таңбасы денені салқындату $(T > T_C)$, ал «минус» – оны қыздыру $(T < T_C)$ кезінде қолданылады. Берілген шекаралық шарт көлбеулік коэффициенттері әртүрлі болатын түзулер түрінде кескінделеді (1-сурет, 3 сызық).

Температуралары бірдей $T_1 = T_2$ және жылу өткізгіштік коэффициенттері әртүрлі $(\lambda_1 \neq \lambda_2)$ екі ортаның шекарасында IV текті шарт қойылады:

$$-\lambda_1 \left.\frac{\partial T_1}{\partial x}\right|_{x=x_0} = -\lambda_2 \left.\frac{\partial T_2}{\partial x}\right|_{x=x_0} \tag{4}$$

Бұл IV текті шекаралық шарттың фазалық кеңістіктегі кескіні 1-суретте (4 сызық) көрсетілген. Бұл температураның кеңістіктік айнымалы бойынша туындысы үзіліске ұшырайтын вертикаль сызық, себебі $\lambda_1 \neq \lambda_2$. Сонымен бірге бұл үзіліс осы туындының абсолюттік мәнінің артуымен өседі. 1-суретте бұл жағдай температураның кіші туындылары үшін «+» және үлкен мәнді туындылары «Δ» таңбасымен белгіленген. Таңбалардағы сандар Т айнымалысының индекстерімен сәйкес келеді.

Негізінде, мұндай секірулер температураның кеңістіктік туындыларында ғана емес, сондай ақ $T_1 \neq T_2$ температураның өзінде де болады. Мысалы, екі дененің арасында ауаның немесе басқа ортаның жұқа қабаты болса. IV текті шекаралық шарттың фазалық кеңістіктегі кескіні 5 қисық (1-сурет) түрінде болады.

Фазалық жазықтықтағы шектік есептердің мүмкін шешімдерінің облысын тұрғызу және көрнекі түрде көрсету шектік есепті шешудің сандық алгоритмін жасауда маңызды болып табылады. Мұндай талдауды шектік есептің дифференциалдық операторының дөңес қисық түріндегі ерекше нүктелері болғанда қолдану қажет болады.

Енді, фазалық жазықтықтардағы бейсызықтық шекаралық шарттарды қарастырайық. I және II текті бейсызықтық шекаралық шарттар үшін фазалық жазықтықтардағы кескіндеу мен талдауды жалпылауға болады. Мұндай шекаралық шарттар тек (анық және жасырын түрде берілген) сәйкесінше температураға немесе оның кеңістіктік туындысына бейсызықтық тәуелділіктерден тұрады. Бұл шарттардың $(T,\ \partial T/\partial x)$ жазықтығындағы кескіні сызықтық жағдайдағыдай (1-сурет, 1, 2 сызықтар) болып қалады, бірақ сызықтық емес теңдеулердің мүмкін шешімдерінің облысына қойылатын қосымша математикалық шектеулер пайда болады.

III және IV текті бейсызықтық шекаралық шарттарды әрбір нақты есеп үшін талдап, кескіндеу қажет. Осындай екі есеп қарастырамыз. Біріншісі кабельдік бұйымдарды жылулық өңдеу кезіндегі температуралық өрістерді математикалық модельдеумен байланысты [1], екіншісі – энергияны термоэмиссиялық түрлендіргіштің төмен температуралы цезий плазмасындағы процестерді моделдеумен байланысты [2-6].

Мыс өзекшесі бар кабельді оқшаулаушы қабатпен қаптау жылулық өңдеу пештерінде құрғақ әдіспен жүргізіледі. Бірөлшемді цилиндрлік координаттардағы жылуөткізгіштіктің шектік есебіне II, III және IV текті шекаралық шарттар қойылады:

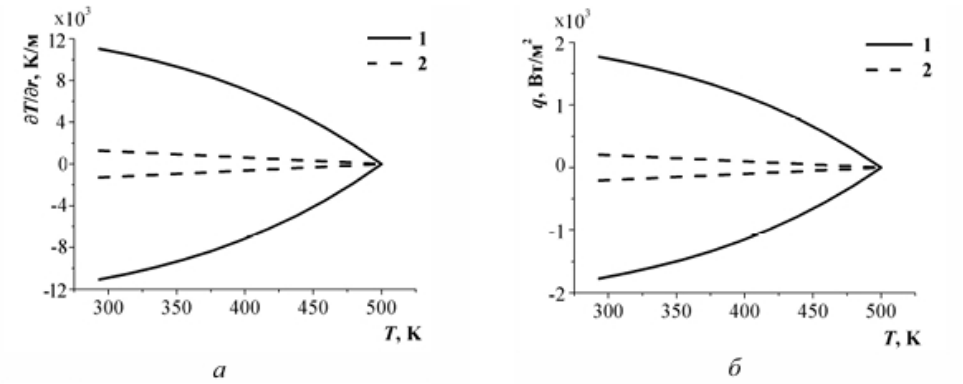
$$\left.\frac{\partial T_1}{\partial r}\right|_{r=0} = 0, \tag{5}$$

$$q_2 = -\lambda_2 \left.\frac{\partial T_2}{\partial r}\right|_{r=r_2} = \alpha(T_2 - T_B) + \sigma\varepsilon_k(T_2^4 - T_B^4), \tag{6}$$

$$-\lambda_1 \left.\frac{\partial T_1}{\partial r}\right|_{r=r_1} = -\lambda_2 \left.\frac{\partial T_2}{\partial r}\right|_{r=r_2}, \tag{7}$$

мұндағы: r – бұйымның радиусы; $r_1 = 2\cdot 10^{-3}$м, $r_2 = 3\cdot 10^{-3}$м – өзекше мен қабықтың радиусы; T_1, T_2 - өзекше мен қабықтың температурасы; $T_B = 500$ К – өңдеу пешінің температурасы; $\lambda_1 = 400$ Вт/(м · К), $\lambda_2 = 0{,}16$ Вт/(м · К) – мыс өзекше мен қабықтың жылу өткізгіштік коэффициенттері; $\alpha = 1$ Вт/(м^2 · К) – қоршаған ортаның жылу алмасу коэффициенті; $\sigma = 5{,}67\cdot 10^{-8}$ Вт/(м^2 · К^4) – Стефан – Больцман тұрақтысы, $\varepsilon_k = 0{,}5$ – қара түстің келтірілген дәрежесі.

2-суретте $(T,\ \partial T/\partial x)$ және (T, q) жазықтықтарындағы есептің бейсызықтық шекаралық шарттарының кескіндері көрсетілген. 2, а-суретті талдау бойынша сәулеленудің бейсызықтық мүшесін ескеру қабықтағы температураның градиентінің температураның бүкіл 293,...,500 К диапазонында бір ретке артуына алып келеді.



Сурет 2. Жылулық өңдеу есебінің бейсызықтық шекаралық шарттарының фазалық жазықтықтағы кескіні: а – $(T,\ \partial T/\partial x)$; б – (T, q); 1,2) сәулелену ескерілген және ескерілмеген жағдайдағы жылу алмасу

Мыс өзекшенің жылуөткізгіштік коэффициенті үлкен және диаметрі кіші, сондықтан ондағы температураның градиенті минимал мәнге ие болады. $(T,\ \partial T/\partial x)$ фазалық жазықтығында өзекшедегі температураның таралуы абцисса осіне жақын орналасқан вертикаль түзудің кішірек кесіндісі болып табылады. Өзекше мен қабықтың жылуөткізгіштік коэффиценттерінің $\lambda_1/\lambda_2 = 2{,}5 \cdot 10^3$ үлкен айырмашылығы қабықта біршама температура градиентін туғызады. IV текті шекаралық шарт вертикаль түзудегі λ_1/λ_2 шамасына пропорционал туындының үзілісіне алып келеді. Жіңішке қабықтағы полимерлеу процестері оның температуралық өрісіне әлсіз әсер етеді [1], сондықтан температураның артуы сызықтық заңдылыққа жақын, ал температураның градиенті тұрақты шамаға тең.

$(T,\ \partial T/\partial x)$ фазалық жазықтығында қабықтағы температураның таралуы бейсызықтық шекаралық шарттың маңайында орналасқан горизонталь сызықтың кесіндісі болып табылады. Өзекше мен қабықтағы температураның таралу есебінің сандық шешімі қабықтағы температура градиентін есептеуге мүмкіндік береді. Ол шамамен 10^4 К/м. Сондықтан $T_1 = 324$ К үшін өзекшедегі температураның градиенті $10^4/(\lambda_1/\lambda_2) = 4$ К/м болады. Шындығында, $(T,\ \partial T/\partial x)$ жазықтығындағы есептің шешімі абцисса осі мен шекаралық шарттардың қисығынан табылады. (T, q) жазықтығында (2,б-сурет) бұл шешім абцисса осіндегі координатасы $T_1 = 324$ К болатын нүкте арқылы өтетін вертикаль сызық болып келетін үздіксіз шама болып табылады.

Энергияны термоэмиссиялық түрлендіргішінің эмиттеріндегі кинетикалық энергия ағынының тығыздығы q_{e0}, ал коллекторда - q_{ed} болсын. Бұл екі шаманың мәндері электродтардың маңайындағы потенциалдық тосқауылдардың полюстеріне байланысты әртүрлі өрнектермен анықталады [5]:

$$x = 0, \quad V_E \le 0,$$

$$\left(1 - \frac{1}{2} exp\left(\frac{eV_E}{kT_{e0}}\right)\right) q_{e0} = J_{Ee}\left(\frac{2kT_E}{e} - \frac{2kT_{e0}}{e}\right) +$$

$$+J_{e0}\left(1-\frac{1}{2}exp\left(\frac{eV_E}{kT_{e0}}\right)\right)\left(\frac{2kT_{e0}}{e}-V_E\right), \quad (8)$$

$x=0, \quad V_E \geq 0,$

$$\frac{1}{2}q_{e0}=\left(J_{Ee}exp\left(\frac{eV_E}{kT_{e0}}\right)-\frac{1}{2}J_{e0}\right)\left(\frac{2kT_E}{e}-\frac{2kT_{e0}}{e}\right)+J_{e0}\frac{2kT_E}{e}, \quad (9)$$

$x=d, \quad V_C \geq 0,$

$$\left(1-\frac{1}{2}exp\left(\frac{-eV_C}{kT_{ed}}\right)\right)q_{ed}=J_{Ce}\left(\frac{2kT_{ed}}{e}-\frac{2kT_C}{e}\right)+$$
$$+J_{ed}\left(1-\frac{1}{2}exp\left(\frac{-eV_C}{kT_{ed}}\right)\right)\left(\frac{2kT_{ed}}{e}+V_C\right), \quad (10)$$

$x=d, \quad V_C \leq 0,$

$$\frac{1}{2}q_{ed}=\left(J_{Ce}exp\left(\frac{eV_C}{kT_C}\right)-\frac{1}{2}J_{ed}\right)\left(\frac{2kT_{ed}}{e}-\frac{2kT_C}{e}\right)+J_{ed}\frac{2kT_C}{e}, \quad (11)$$

мұндағы: e, k – электронның заряды және Больцман тұрақтысы; J_{Ee}, J_{Ce} – эмиттер мен коллектордан өтетін эмиссиялық электрондық токтың тығыздығы; J_{e0}, J_{ed} – эмиттер $(x=0)$ және коллектор $(x=d)$ маңайындағы электрондық токтың тығыздығы; d – электрод аралық саңлаудың ені; T_{e0}, T_{ed} – электродтар маңайындағы температура; V_E, V_C – эмиттер мен коллектор маңайындағы электрод жанындағы потенциалдық тосқауыл. Электрод маңайындағы потенциалдық тосқауыл (V_E немесе V_C) үдетуші (<0) немесе тежеуші (>0) деп есептеледі, егер ол эмиттерден коллекторға келетін электрондарды үдететін (немесе тежейтін) болса.

Плазмадағы электрондардың кинетикалық энергиясының стационар ағынының тығыздығының өрнегінде конвектиктік құраушы да ескеріледі:

$$q_e=-\lambda_e\frac{dT_e}{dx}+2J_e\frac{kT_e}{e}, \quad (12)$$

мұндағы: T_e – плазма электрондарының температурасы; $\lambda_e=2knD_e$ – электрондық газдың жылуөткізгіштік коэффициенті; n – плазманың тығыздығы; D_e – плазмадағы электрондардың диффузия коэффициенті.

Энергияны термоэмиссиялық түрлендіргішінің (ЭПТ) доғалық жұмыс режимінде электродтар аралығындағы саңлауда электрондар үшін ($V_E<0,\ V_C>0$) потенциалдық шұңқыр пайда болады, тәжірибелік өлшеулер арқылы плазма тығыздығының $n=n(x)$, электрондардың температурасының $T_e=T_e(x)$ және плазма орналасқан кеңістіктегі потенциалдың $V=V(x)$ таралуларын алады [2, 3]. $(T,\ \partial T/\partial x)$ және (T, q) фазалық жазықтықтарының көмегімен плазма параметрлерінің эксперименттік және теориялық таралуларын салыстыруға болады [3]. Параметрлердің таралуларын теориялық түрде электрод маңайындағы температураның берілген өзгеру диапазоны үшін (8-11)-шекаралық шарттардан және (12)-формула бойынша $\left.\frac{dT_e}{dx}\right|_{x=0}, \left.\frac{dT_e}{dx}\right|_{x=d}$ шамаларының өрнектерден алуға болады.

ЭТТ және плазма параметрлері үшін келесі салыстырулар жасалды: эмиттердің температурасы $T_E = 1830\,K$, коллектордың температурасы $T_C = 840\,K$, цезий буының қысымы $p_{Cs} = 266{,}2$ Па, $d = 0{,}06$ см, электронның эмиттерден және коллектордан шығу жұмыстары сәйкесінше $F_E = 3{,}086$ эВ, $F_C = 1{,}448$ эВ. Эмиттерден келетін токтың эмиссиялық тығыздығы $J_{Ee} = 1{,}28$ А,/см^2, коллектордан келетін ток тығыздығы - $J_{Ce} = 0{,}1$ А,/см^2. Электрон – атом соқтығысу қимасы $\sigma_{ea} = 3{,}5 \cdot 10^{-14}$см^2, электрон – ион үшін $\sigma_{ei} = 3{,}9 \cdot 10^{-6}\Lambda/T_e^2$ см^2, $\Lambda -$ кулондық логарифм.

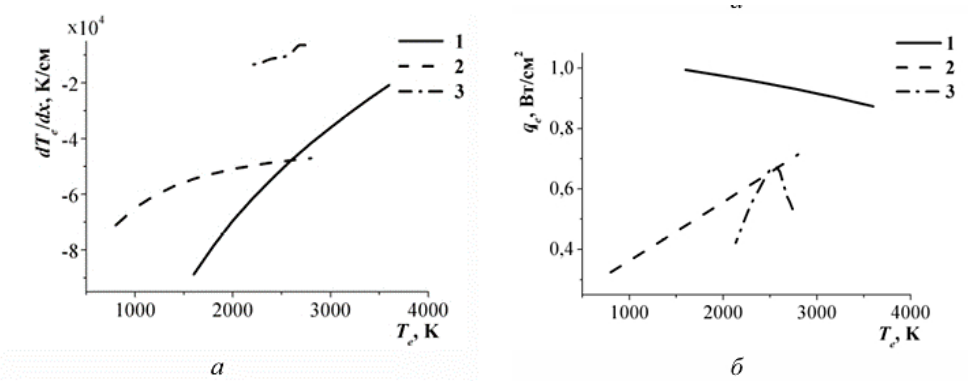
3-суретте ЭТТ арқылы өтетін $V_E = -0{,}667\,B$, $V_C = -0{,}188\,B$, $J = 1$ А/см^2 ток тығыздығы үшін плазманың эксперименттік және теориялық параметрлері келтірілген. Электрондардың эксперименттік температурасы$T_{eЭ} = T_{eЭ}(x)$ эмиттерден коллекторға қарай бірқалыпты кемиді (3, а-сурет, 3-қисық), сонымен бірге эмиттердің маңайында температура градиенті коллектор маңайындағыға қарағанда кіші. Қарастырып отырған үлгіде электрондар үшін температура градиенті теріс (3, а-сурет, 1 , 2-қисықтар), және экспериментпен салыстырғанда (абсолюттік мәні бойынша) біраз үлкен. Осы нәтижелерді салыстырудан шығатыны:

- Эмиттер маңайында

$$\left.\frac{dT_{eЭ}}{dx}\right|_{x=0} = -6400\ \text{К/см},\ \left.\frac{dT_{eМ}}{dx}\right|_{x=0} = -44048\ \text{К/см};$$

- Коллектор маңайында

$$\left.\frac{dT_{eЭ}}{dx}\right|_{x=d} = -13400\ \text{К/см},\ \left.\frac{dT_{eМ}}{dx}\right|_{x=d} = -51790\ \text{К/см}.$$



Сурет 3. Төменгі температуралық плазманың фазалық жазықтықтағы параметрлерінің таралуы: а) $(T_e,\ \partial T_e/\partial x)$; б) (T_e, q_e); 1, 2) эмиттер және коллектор маңайындағы үлгілік параметрлер; 3) плазманың эксперименттік параметрлері

Эксперименттік $T_{eЭ} = T_{eЭ}(x)$ тәуелділіктің және (12) көмегімен анықталған плазмадағы электрондардың кинетикалық энергиясының тығыздығы (T_e, q_e) жазықтығында монотонды емес, үзілістері бар (3, б-сурет, 3-қисық). Эксперименттің және үлгінің көмегімен алынған шамаларды сандық салыстыру нәтижелері: эмиттер маңайында $q_{eЭ}|_{x=0} = 0{,}53$ Вт/см^2, $q_{eМ}|_{x=0} = 0{,}94$ Вт/см^2; коллектор маңайында $q_{eЭ}|_{x=d} = 0{,}42$ Вт/см^2, $q_{eМ}|_{x=d} = 0{,}58$ Вт/см^2.

Сонымен, эксперменттік және теориялық нәтижелерді сандық және сапалық салыстыру арқылы олардың бір-бірімен айтарлық айырмашылықтары болатыны анықталды. Плазма параметрлерінің мәндерін эксперименттік мәндерге 20% шегінде жуықтап ұстап отырып қанағаттанарлық сәйкестікті алуға болады. Нәтижелердің негізгі ауытқулары эмиттер маңайындағы электрондардың эксперименттік температуралық градиентінің аздығынан болып отыр. Эмиттер маңайындағы электрондардың температуралық градиенті коллектор маңайындағыдан төмен болмау керек. Эмиттер маңайындағы электрондардың температурасын бағалау нәтижесінде бұл шаманың әртүрлі авторларда әртүрлі болатыны байқалады. Мысалы, [3] жұмыста доғаның жану теңдеуін талдаудан алынған эмиттер маңайындағы электрондардың температурасы $T_{e0} = 2520$ К, ал [7] жұмыста ЭТТ эксперименттік вольт-амперлік сипаттамасын талдап, алынған нәтиже бойынша $T_{e0R} = 4640$ К. Соңғы бағалау бойынша, электрондардың саңлаудағы температуралық градиенті $\partial T_e/\partial x \approx (T_{ed\text{Э}} - T_{e0R})/d = (2133 - 4640)/0{,}06 = -41783$ К/см. Бұл жоғарыда келтірілген үлгідегі электрондардың температуралық градиентінің $\left.\frac{dT_{e\text{М}}}{dx}\right|_{x=0}$ мәніне жақын.

Электрондардың эксперименттік және теориялық температураларының өзгерісіндегі айырмашылық мәселесі қазіргі кездегі қолданыстағы плазманың теориялық үлгілерін ары қарай зерттеуді қажет етеді.

Қорытынды.

1. Температура-температура градиенті, температура-жылу ағынының тығыздығы фазалық жазықтықтарын қолданып, жылуөткізгіштік теңдеуінің шекаралық шарттарын кескіндеудің және талдаудың әдісі қарастырылды.

2. Барлық сызықтық IV текті шекаралық шарттардың фазалық жазықтықта кескінделуі талданды. Нақты екі есеп үшін III және IV текті шекаралық шарттардың фазалық жазықтықта кескінделу ерекшеліктері талқыланды. Біріншісі – цилиндрлік координаттар жүйесінде кабельдік бұйымдарды вулканизациялау кезіндегі температуралық өрістер үлгісі жасалды. Екіншісі - термоэмиссиялық энергия түрлендіргішіндегі төменгі температуралық цезий плазмасындағы процестердің декарттық координаттар жүйесіндегі үлгісі жасалды.

3. Фазалық жазықтықтар қолданылатын есептер үшін плазманың эксперименттік және үлгілік параметрлері салыстырылды. Нәтижесінде эмиттердегі электрондардың температуралық градиетінің айтарлықтай айырмашылығы болатыны анықталды.

Әдебиеттер тізімі

1. Кузнецов Г. В. Математическое моделирование температурных полей в процессе вулканизации типичных кабельных изделий [Текст] / Г. В. Кузнецов, Е. В. Иванова// Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 316, № 4: Энергетика.
2. Бакшт Ф.Г., Дюжев Г.А., Марциновский А.М. и др. Термоэмис сионные преобразователи и низкотемпературная плазма [Текст]/ под ред. Б.Я. Мойжеса и Г.Е. Пикуса. – М.: Наука, 1973. – 480 с.
3. Стаханов И.П., Пащенко В.П., Степанов А.С., Гуськов Ю.К. Физические основы термоэмиссионного преобразования энергии [Текст] / под ред. И.П. Стаханова. – М.: Атомиздат, 1973. – 374 с.
4. Энциклопедия Низкотемпературной Плазмы [Текст] / ред. В.Е. Фортов, серия Б, том III-I, ред. А.Н. Старостин и И.Л. Иосилевский. – М.: Физматлит, 2004

5. Лесин, В.В. Уравнения математической физики [Текст]: учебник / В.В. Лесин. – Москва: ИНФРА-М, 2023. – 239 с.
6. Лыков А.В. Теория теплопроводности [Текст] / А.В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.
7. Егоров В.И. Точные методы решения задач теплопроводности [Текст] / В.И Егоров. – Санкт-Петербург: УниверситетИТМО, 2015. – 64 с.
8. Дресвин С. В., Донской А. В., Гольдфарб В. М., Клубникин В. С. Физика и техника низкотемпературной плазмы [Текст] / Под общей редакцией С. В. Дресвина. – М., Атомиздат, 1972. – 352 с.

Материал редакцияға 17.02.26 түсті, 17.03.26 қабылданды.

Р.Ж. Наметкулова[1], А.К. Кадиримбетова[2]

[1]Таразский университет им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан

ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ НА ФАЗОВОЙ ПЛОСКОСТИ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Аннотация. Рассмотрен метод анализа граничных условий краевой задачи теплопроводности на фазовых плоскостях температура – градиент температуры и температура – плотность теплового потока. Проанализированы особенности типов линейных граничных условий на заданных плоскостях. Нелинейные граничные условия на фазовых плоскостях изучены для двух случаев. Сравнивались результаты экспериментального и теоретического исследования расчета распределения температуры.

Ключевые слова: граничные условия, теплопроводность, уравнение теплопроводности, тепловой поток, температура, краевая задача, фазовая плоскость.

R.Zh. Nametkulova[1], A.K. Kadirimbetova[1]

[1]M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan

BOUNDARY CONDITIONS ON THE PHASE PLANE FOR THE THERMAL CONDUCTIVITY EQUATION

Abstract. The method of analysis of the boundary conditions of the edge problem of thermal conductivity in the phase planes temperature – temperature gradient and temperature – heat flux density is considered. The features of types of linear boundary conditions in the given planes are analyzed. Nonlinear boundary conditions in the phase planes are studied for two cases. The results of experimental and theoretical research of calculation of temperature distribution were compared.

Keywords: boundary conditions, thermal conductivity, heat conduction equation, heat flux, temperature, boundary value problem, phase plane.

References

1. Kuznetsov G.V., Ivanova E.V. Matematicheskoe modelirovanie temperaturnykh poley v protsesse vulkanizatsii tipichnykh kabelnykh izdeliy [Mathematical modeling of temperature fields during vulcanization of typical cable products] // News of Tomsk Polytechnic University. – 2010. – Vol. 316. – No. 4. [in Russian].
2. Baksht F.G., Dyuzhev G.A., Marcinovsky A.M., et al. Termoemissionnye preobrazovateli i nizkotemperaturnaya plazma [Thermoemission converters and

low-temperature plasma] // edited by B.Ya. Moizhess and G.E. Pikus. – M.: Nauka, 1973. – 480 p. [in Russian].

3. Stakhanov I.P., Pashchenko V.P., Stepanov A.S., Guskov Yu.K. Fizicheskie osnovy termoemissionnogo preobrazovaniya energii [Physical fundamentals of thermoemission energy conversion] // edited by I.P. Stakhanov. – M.: Atomizdat, 1973. – 374 p. [in Russian].
4. Entsiklopediya Nizkotemperaturnoy Plazmy [Encyclopedia of Low-Temperature Plasma] // edited by V.E. Fortov, Series B, Vol. III-I, edited by A.N. Starostin and I.L. Iosilevskiy. – M.: Fizmatlit, 2004. [in Russian].
5. Lesin V.V. Uravneniya matematicheskoy fiziki [Equations of Mathematical Physics]: Textbook. – Moscow: INFRA-M, 2023. – 239 p. [in Russian].
6. Lykov A.V. Teoriya teploprovodnosti [Theory of Heat Conduction]. – M.: Vysshaya shkola, 1967. – 599 p. [in Russian].
7. Egorov V.I. Tochnye metody resheniya zadach teploprovodnosti [Accurate Methods for Solving Heat Conduction Problems]. – Saint Petersburg: University ITMO, 2015. – 64 p. [in Russian].
8. Dresvin S.V., Donskoy A.V., Goldfarb V.M., Klubnikin V.S. Fizika i tekhnika nizkotemperaturnoy plazmy [Physics and Technology of Low-Temperature Plasma] // edited by S.V. Dresvin. – M.: Atomizdat, 1972. – 352 p. [in Russian].