

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

ISSN 1680-080X (print)
2788-6948 (online)

**Қазақ бас сәулет-құрылыс
академиясының
ХАБАРШЫСЫ**

№2 (92) 2024

**BULLETIN
of Kazakh Leading
Academy of Architecture
and Construction**

**ВЕСТНИК
Казахской головной
архитектурно-
строительной
академии**

Журнал 2001 жылдан бастап шығады
Journal has been publishing since 2001
Журнал издается с 2001 года

Жылына 4 рет шығады
Quarterly journal
Выходит 4 раза в год

Алматы, 2024

РЕДКОЛЛЕГИЯ / EDITORIAL BOARD

Абдрасилова Г.С. / G.S. Abdrasilova / Абдрасилова Г.С. – Бас редактор / Главный редактор / Editor-in-Chief

Сәулет докторы, Сәулет факультетінің акад. профессоры, ХБК, Қазақстан / Doctor of Architecture, Academic Professor, Faculty of Architecture, IEC, Kazakhstan / д.арх., академический профессор факультета Архитектуры, МОК, Казахстан
<https://orcid.org/0000-0002-3828-9220>, e-mail: g.abdrasilova@kazgasa.kz

Молдамуратов Ж.Н. / Zh.N. Moldamuratov / Молдамуратов Ж.Н.– Жауапты редактор / Ответственный редактор / Managing Editor

PhD, қауымдастырылған профессор, Ғылым орталығының директоры, ХБК, Қазақстан / PhD, Associate Professor, Director of the Center for Science, IEC, Kazakhstan / PhD, ассоциированный профессор, директор Центра Науки, МОК, Казахстан
<https://orcid.org/0000-0002-4573-1179>, e-mail: zhanga_m_n@mail.ru

Есімханова А.Е. / A.E. Yesimkhanova / Есімханова А.Е.– Техникалық редактор / Технический редактор / Technical Editor

«Құрылыс және сәулет» баспасының редакторы, ХБК, Қазақстан / Editor of the publishing house «Construction and Architecture», IEC, Kazakhstan / редактор издательства «Строительство и Архитектура», МОК, Казахстан
e-mail: idmok_777@mail.ru

Құлтаева Ш.М. / S. Kultayeva / Құлтаева Ш.М.– Жауапты хатшы / Ответственный секретарь / Executive secretary

PhD, Ғылым Департаментінің үйлестірушісі, ХБК, Алматы, Қазақстан / PhD, координатор Департамента Науки, МОК, Алматы, Казахстан / PhD, coordinator of the Department for Science, IEC, Almaty, Kazakhstan.
<https://orcid.org/0000-0002-2409-1184>, e-mail: mk1610sh@gmail.com

Ким Е.В. / Y.-W. Kim / Ким Е.В.

PhD, Сеул Университетінің профессоры, Оңтүстік Корея / PhD, профессор Университета Сеул, Южная Корея / PhD, professor of the University of Seoul (UOS), South Korea
<https://orcid.org/0000-0001-6275-0323>, e-mail: ywkim@uos.ac.kr

Ватин Н.И. / N.I. Vatin / Ватин Н.И.

Т.ғ.д., профессор, С-Петербург политехникалық университеті Құрылыс институтының директоры, Ресей / д.т.н., профессор, директор Института строительства, С-Петербургский политехнический университет, Россия / Doctor of Technical Sciences, professor, director of the Institute of Construction, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-1196-8004>, e-mail: vatin_ni@spbstu.ru

Амандықова Д.А. / D.A. Amandykova / Амандықова Д.А.

Сәулет кандидаты, Дизайн факультетінің деканы, ХБК, Қазақстан / Candidate of Arch., Dean of the Faculty of Design, IEC, Kazakhstan / к.арх., декан факультета Дизайна, МОК, Казахстан
<https://orcid.org/0000-0003-2322-8430>, e-mail: abilmazhin.dina@mail.ru

Куц С. / S. Kuc / Куц С.

Сәулет докторы, Краков технологиялық университетінің профессоры, Польша / Doctor of Architecture, Professor, Krakow University of Technology, Poland / д.арх., профессор Краковского технологического университета, Польша
<https://orcid.org/0000-0002-8106-9215>, e-mail: kuc.sabina@team.busko.pl

Байтенов Э.М. / E. Baitenov / Байтенов Э.М.

Сәулет докторы, Сәулет факультетінің қауымдастырылған профессоры, ХБК, Қазақстан / Doctor of Arch., Associate Professor of the Faculty of Architecture, ИЕС, Kazakhstan / д.арх., ассоциированный профессор факультета Архитектуры, МОК, Казахстан
<https://orcid.org/0000-0003-0509-8396>, e-mail: bajte@mail.ru

Әділова Д.Ә. / D. A. Adilova / Адилова Д.А.

Э.ғ.к., ҚТИЖМ факультетінің қауымдастырылған профессоры, ХБК, Қазақстан / К.э.н., ассоциированный профессор факультета СТИИМ, МОК, Казахстан / Candidate of economic science, Associate Professor of faculty of СТИМ, ИЕС, Kazakhstan
<https://orcid.org/0000-0001-9904-0464>, e-mail: dadilova65@mail.ru

Бесімбаев Е.Т. / Ye.T. Bessimbayev/ Бесимбаев Е.Т.

Т.ғ.д., Сәтпаев Университетінің профессоры, Қазақстан / Doctor of Technical Sciences, Professor of the Satpayev University, Kazakhstan / д.т.н., профессор Сәтпаев Университета, Казахстан
<https://orcid.org/0000-0002-0869-3513>, e-mail: eric.bessimbayev@mail.ru

Ыбраимбаева Г.Б. / G.B. Ibraimbayeva / Ибраимбаева Г.Б.

Т.ғ.к., ҚТИЖМ факультетінің қауымдастырылған профессоры, ХБК, Қазақстан / к.т.н., ассоциированный профессор факультета СТИМ, МОК, Казахстан / Candidate of technical science, Associate Professor of the Faculty of СТИМ, ИЕС, Kazakhstan
<https://orcid.org/0000-0002-4778-5664>, e-mail: gulnazik1971@mail.ru

Глаудинова М.Б. / M.B. Glaudinova / Глаудинова М.Б.

Сәулет докторы, Сәулет факультетінің профессоры, ХБК, Қазақстан / Doctor of architecture, Professor, ИЕС, Kazakhstan / Доктор архитектуры, профессор факультета Архитектуры, МОК, Казахстан
<https://orcid.org/0000-0002-5848-3100>, e-mail: mehris@mail.ru

Туяқева А.К. / A.K. Tuyaqayeva / Туяқева А.К.

Сәулет кандидаты, Сәулет факультетінің қауымдастырылған профессоры, ХБК, Қазақстан / Candidate Arch., Assosociate Professor, ИЕС, Kazakhstan / к.арх., ассоциированный профессор факультета Архитектуры, МОК, Казахстан
<https://orcid.org/0000-0003-2322-8430>, e-mail: tainagul@yandex.ru

Хомяков В.А. / V.A. Khomyakov / Хомяков В.А.

Т.ғ.д., ЖҚ факультетінің профессоры, ХБК, Қазақстан / Д.т.н., профессор факультета ОС, МОК, Казахстан / Doctor of technical science, Professor of the Faculty GC, Kazakhstan
<https://orcid.org/0000-0003-0384-7170>, e-mail: khomyakov57@list.ru

Шокбаров Е.М. / Y.M. Shokbarov / Шокбаров Е.М.

Т.ғ.к., АҚ «ҚазҚСҒЗИ» өндіріс директоры, Қазақстан / К.т.н., директор по производству АО «КазНИИСА», Казахстан / Candidate of technical science, Director of Production in JSC “Kazakh Scientific Research and Design Institute of Construction and Architecture”, Kazakhstan
<https://orcid.org/0000-0003-1188-430X>, e-mail: eshokbarov@kazniisa.kz

Жакипбаев Б.Е. / В.У. Zhakipbayev / Жакипбаев Б.Е.

PhD, Мұхтар Әуезов атындағы ОҚУ қауымдастырылған профессоры, Қазақстан / PhD, Associate Professor of the Auezov University, Kazakhstan / PhD, ассоциированный профессор ЮКУ имени Мухтара Ауезова, Казахстан
<https://orcid.org/0000-0002-1412-7796>, e-mail: bibol_8484@mail.ru

Талал Аввад / Talal Awwad / Талал Аввад

PhD, Император Александр I Петербург Мемлекеттік байланыс жолдары университетінің профессоры, Ресей / PhD, Professor of the St. Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I, Russia / PhD, профессор Петербургский Государственный Университет путей сообщения Императора Александра I, Россия
<https://orcid.org/0000-0002-6487-2428>, e-mail: dr.awwad.gfce@gmail.com, dr.awwad@yemail.com

Сабри Моханад Муяд Сабри/ Sabri Mohanad Muayad Sabri / Сабри Моханад Муяд Сабри

Т.ғ.к., Санкт-Петербург политехникалық университеті, Ресей / Candidate of technical science, St. Petersburg Polytechnic University, Russia / К.т.н., Санкт-Петербургский политехнический университет, Россия
<https://orcid.org/0000-0003-3154-8207>, e-mail: sabri_mm@spbstu.ru

Пьентек Бартош / Piątek, Bartosz / Пьентек Бартош

PhD, И. Лукасевич атындағы Рещув политехникалық университетінің профессоры / PhD, Professor of the Rzeszow University of Technology, Poland / PhD, профессор Жешувского политехнического университета им. И. Лукасевича, Польша
<https://orcid.org/0000-0001-5824-1892>, e-mail: piątek@prz.edu.pl

Жұмағұлова Р.Е. / R.E. Zhumagulova / Жумағұлова Р.Е.

Т.ғ.к., ҚТИЖМ факультетінің қауымдастырылған профессоры, ХБК, Қазақстан / Candidate of technical science, Associate Professor of the Faculty of СТІМ, ИЕС, Kazakhstan / к.т.н., ассоциированный профессор факультета СТИиМ, МОК, Казахстан
<https://orcid.org/0000-0003-4889-5477>, e-mail: roza_j@mail.ru

Саламзаде Э.А. / E. Salamzade / Саламзаде Э.А.

Өнертану докторы, профессор, Әзірбайжан ҰҒА корреспондент-мүшесі, Әзірбайжан ҰҒА сәулет және өнер институтының директоры / Doctor in art history, Professor, Corresponding Member of NAS of Azerbaijan, Director of Institute of architecture and art of NAS of Azerbaijan / доктор искусствоведения, профессор, член-корреспондент НАН Азербайджана, директор Института архитектуры и искусства НАН Азербайджана
e-mail: ertegin@baku.ab.az

Рысбаева А.К. / A.K. Rysbaeva / Рысбаева А.К.

Т.ғ.к., Жалпы білім беру пәндері факультетінің қауымдастырылған профессоры, ХБК, Қазақстан / Candidate of technical science, Associate Professor, ИЕС, Kazakhstan / к.т.н., ассоциированный профессор факультета Общеобразовательных дисциплин, МОК, Казахстан
<https://orcid.org/0000-0001-8535-4596>, e-mail: aimanrk@mail.ru

Уйма А. / A.Ujma / Уйма А.

PhD, Ченстохов технологиялық университетінің профессоры, Польша / Ph.D., Professor of Czestochowa University of technology, Czestochowa / Ph.D., профессор Ченстоховского технологического университета, Польша
<https://orcid.org/0000-0001-5331-6808>, e-mail: adam.ujma@pcz.pl

Шубин И.Л. / I.L. Shubin / Шубин И.Л.

Т.ғ.д., Құрылыс физика ҒЗИ директоры, Ресей сәулет және құрылыс ғылымдары академиясының корреспондент-мүшесі, Ресей / Doctor of Technical Sciences, Director of the Research Institute of Construction Physics, Corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Russia / д.т.н., директор НИИ строительной физики, член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук, Россия
<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55353536300>, e-mail: niisf@niisf.ru

Редакция мекенжайы:

«Халықаралық білім беру корпорациясы» ЖШС
050043, Алматы қ-сы, Рысқұлбеков к-сі, 28
Tel. 8(727) 220-81-03, ішкі 1179
Email: nauka_kazgasa@mail.ru, vestnik@kazgasa.kz
<https://vestnik.kazgasa.kz>

Editorial office address:

«International Educational Corporation» LLP
050043, Almaty, Ryskulbekov str. 28
Tel. 8 (727) 220-81-03, ext. 1179
email: nauka_kazgasa@mail.ru, vestnik@kazgasa.kz
<https://vestnik.kazgasa.kz>

Адрес редакции:

ТОО «Международная образовательная корпорация»
050043, г. Алматы, ул. Рысқұлбекова, 28
Tel. 8(727) 220-81-03, внутр. 1179
email: nauka_kazgasa@mail.ru, vestnik@kazgasa.kz
<https://vestnik.kazgasa.kz>

© Международная
образовательная корпорация,
2024

СОДЕРЖАНИЕ

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

Аубакирова Т.А., Мырзакасымова Ж.Ж., Пентаев Т.П., Жанакоева Р.Қ. Автокөлік жолының аумағын қайта құру кезіндегі инженерлік геодезиялық жұмыстарды бақылау.....	7
Естемесова А.С., Жилкибаева А.М., Матвеева Л.Ю. Исследование свойств модифицированного вяжущего полученного на основе отходов обогащения ГОК.....	22
Жилкибаева А.М. Строительно-эксплуатационные свойства бетонов на модифицированном вяжущем	36
Исаева Ж.М., Самбетбаева А.К., Күрманбекова Э.Б. Исследование влияния цеолитов на технологические свойства клеев.....	50
Ким Б.В., Күрманбекова Э.Б., Самбетбаева А.К. Разработка жидкостекольной композиции для защиты древесины от возгорания	64
Копжасаров Б.Т., Ахметов Д.А., Жагифаров А.М., Абдраимов И.Е., Құттыбай М.Т., Жұмаділова Ж.О. Кремниялық талшықтарды пайдалану арқылы жол тақтайшаларының сапасын арттыру тиімділігі.....	76
Кудайбергенов Н.Б., Астанков К.Ю., Овчинников И.Г., Абиьмаженов Т.Ш. Применение трубобетона в арочном мостостроении.....	91
Kultayeva S. Mechanical properties of porous silicon carbide ceramics: a review	108
Куспанғалиев Б.У., Самойлов К.И., Приемц О.Н. Особенности пространственного развития комплекса Ходжи Ахмеда Яссави в Туркестане.....	122
Moldamuratov Zh.N., Kultayeva S.M., Seitkazinov O.D., Tukhtamisheva A.Z., Ussenkulov Zh.A. Comparative analysis of the efficiency of parabolic and trapezoidal sections in irrigation canals.....	136
Moldamuratov Zh.N., Sennikov M.N., Seitkazinov O.D., Abieva G.S., Yeskermessov Zh.E. Selection of the optimal machinery complex for constructing irrigation canals with a parabolic profile	149
Tolegenova D.O., Polyakova I.M. Single-degree-of-freedom vibration isolation system with one additional support.....	164
Удербает С.С., Жанатұлы С., Алибеков Н.Б., Бисенов Қ.А., Еримбетов К.А., Амантай Б.Ғ. Арболиттік қабырғалық тақталардың оңтайлы құрамын математикалық әдіспен анықтау және оның кернеулі күйін есептеу.....	177
Шоганбекова Д.А., Уразалиев А.С., Касымканова Х.К., Кожахметов М.С., Қыдырқожақызы Ш. Оценка глобальных геопотенциальных моделей в Казахстане на основе высот геоида и гравитационных аномалий.....	194

UDC 625.855
IRSTI 36.01.11
RESEARCH ARTICLE

CONTROL OF ENGINEERING GEODETIC WORKS DURING THE RECONSTRUCTION OF THE TERRITORY OF THE HIGHWAY

T.A. Aubakirova^{1*} , Z.Z. Myrzakasymova¹ ,
T.P. Pentaev¹ , R.K. Zhanakova² 

¹Al-Farabi Kazakh National University, 050038, Almaty, Kazakhstan

²Kazakh Automobile and Road Institute named after L. B. Goncharova, 050061,
Almaty, Kazakhstan

Abstract. *The article now considers the issues of the necessity to increase the bearing capacity of weak road spoil bases in a number of cases during overhaul or reconstruction of highways. Reconstruction of highways is an important process that allows modernizing and improving the existing infrastructure. This is necessary to ensure the safety and comfort of road traffic. This problem is particularly relevant when it is necessary to increase the capitalization of road surfaces, which is usually associated with increased stiffness and, therefore, sensitivity to deformable earth bed in general. In general, this study considers engineering-geodetic works during the reconstruction of the highway of republican significance "Kalbatau-Maikapshagai". Stages, sections of engineering geodetic works were carried out, deformation analysis works were carried out. The obtained results were analyzed, proposals for other measuring works were excluded, the possibility of forecasting on these proposals was considered. The overall objective is to encompass various activities aimed at improving the safety, passability and comfort of the road. Reconstruction of an area is carried out due to deterioration of the road surface, outdated infrastructure, non-compliance of the road with modern safety and traffic requirements and changing needs and volumes of traffic flow. Reconstruction of highways is an integral part of their maintenance and development. It is necessary to ensure the safety and comfort of road users, as well as to support and improve the transportation infrastructure. In the article reconstruction stages of planning, financing and technical implementation are an important step in infrastructure development.*

Keywords: *highway, reconstruction, geodesy, topographic survey, earthwork.*

***Corresponding author**

Togzhan Aubakirova, e-mail: arystankyzytogzhan23@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-01>

Received 29 December 2023; Revised 19 January 2024; Accepted 16 February 2024

ӘОЖ 625.855
ҒТАМР 36.01.11
ҒЫЛЫМИ МАҚАЛА

АВТОКӨЛІК ЖОЛЫНЫҢ АУМАҒЫН ҚАЙТА ҚҰРУ КЕЗІНДЕГІ ИНЖЕНЕРЛІК ГЕОДЕЗИЯЛЫҚ ЖҰМЫСТАРДЫ БАҚЫЛАУ

Т.А. Аубакирова^{1*} , Ж.Ж. Мырзакасымова¹ ,
Т.П. Пентаев¹ , Р.Қ. Жанакоева² 

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, 050038, Алматы, Қазақстан

²Л. Б. Гончарова атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, 050061, Алматы, Қазақстан

Аңдатпа. Мақала қазіргі таңда автомобиль жолдарын күрделі жөндеу немесе қайта құру кезінде бірқатар жағдайларда жол үйінділерінің әлсіз негіздерінің көтергіш қабілетін арттыру қажеттілігі туралы мәселелер қарастырылған. Автомобиль жолдарын қайта құру-қолданыстағы инфрақұрылымды жаңартуға және жақсартуға мүмкіндік беретін маңызды процесс. Бұл жол қозғалысының қауіпсіздігі мен жайлылығын қамтамасыз ету үшін қажет. Бұл мәселе, әдетте, оның қаттылығының жоғарылауымен, демек, тұтастай алғанда деформацияланатын жер төсеміне сезімталдықпен байланысты жол қабаттарының капиталдылығын арттыру қажет болған жағдайларда ерекше өзектілікке ие болады. Жалпы осы зерттеуде республикалық маңызы бар «Қалбатау-Майқапшағай» автокөлік жолының қайта құру кезіндегі инженерлік геодезиялық жұмыстар қарастырылды. Инженерлік геодезиялық жұмыстардың кезеңдері, қималары сызылып, деформациялық талдау жұмыстары жүргізілді. Алынған нәтижелерге талдау жасалып, басқа да өлшеу жұмыстары бойынша ұсыныстар тасталды, сол ұсыныстар бойынша болжау мүмкіндігі қарастырылады. Жалпы мақсат жолдың қауіпсіздігін, жүру мүмкіндігін және жайлылығын жақсартуға бағытталған әртүрлі іс-шараларды қамту. Жол жамылғысының тозуы, ескірген инфрақұрылым, жолдың заманауи қауіпсіздік пен жүру талаптарына сәйкес келмеуі және көлік ағынының қажеттіліктері мен көлемінің өзгеруі себебінен аумақты қайта құру жұмыстарын жүргізледі. Автомобиль жолдарын қайта құру оларға қызмет көрсету мен дамытудың ажырамас бөлігі болып табылады. Бұл жол қозғалысына қатысушылардың қауіпсіздігі мен жайлылығын қамтамасыз ету, сондай-ақ көлік инфрақұрылымын қолдау және жақсарту үшін қажет. Мақалада қайта құру жоспарлау, қаржыландыру және техникалық іске асыру кезеңдері инфрақұрылымды дамытудағы қадам болып табылады.

Түйін сөздер: автокөлік жолы, реконструкция, геодезия, топографиялық түсірілім, жер төсемі.

*Автор-корреспондент

Тоғжан Аубакирова, e-mail: arystankyzytogzhan23@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-01>

Алынды 29 желтоқсан 2023; Қайта қаралды 19 қаңтар 2024; Қабылданды 16 ақпан 2024.

УДК 625.855
МРНТИ 36.01.11
НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

КОНТРОЛЬ ИНЖЕНЕРНЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ТЕРРИТОРИИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Т.А. Аубакирова^{1*} , Ж.Ж. Мырзакасымова¹ ,
Т.П. Пентаев¹ , Р.Қ. Жанакова² 

¹Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, 050038, Алматы, Казахстан

²Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л. Б. Гончаровой, 050061,
Алматы, Казахстан

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы необходимости повышения несущей способности слабых дорожных оснований в ряде случаев при капитальном ремонте или реконструкции автомобильных дорог. Реконструкция автомобильных дорог - важный процесс, позволяющий модернизировать и совершенствовать существующую инфраструктуру. Это необходимо для обеспечения безопасности и комфорта дорожного движения. Данная проблема особенно актуальна, когда необходимо повысить капитализацию дорожных покрытий, что обычно связано с повышенной жесткостью и, следовательно, чувствительностью к деформируемому земляному полотну в целом. В целом, в данном исследовании рассматриваются инженерно-геодезические работы при реконструкции автомобильной дороги республиканского значения "Калбатау-Майкапшагай". Проведены этапы, участки инженерно-геодезических работ, проведены работы по анализу деформаций. Были проанализированы полученные результаты, исключены предложения по другим измерительным работам, рассмотрена возможность прогнозирования по этим предложениям. Общая цель состоит в том, чтобы охватить различные мероприятия, направленные на повышение безопасности, проходимости и комфорта дороги. Реконструкция участка проводится из-за износа дорожного покрытия, устаревшей инфраструктуры, несоответствия дороги современным требованиям безопасности и дорожного движения, а также меняющихся потребностей и объемов транспортного потока. Реконструкция автомобильных дорог является неотъемлемой частью их содержания и развития. Это необходимо для обеспечения безопасности и комфорта участников дорожного движения, а также для поддержки и совершенствования транспортной инфраструктуры. В статье говорится, что этапы планирования, финансирования и технической реализации реконструкции являются важным шагом в развитии инфраструктуры.

Ключевые слова: автомобильная дорога, реконструкция, геодезия, топографическая съемка, земляные работы.

*Автор-корреспондент
Тоғжан Аубакирова, e-mail: arystankyzytogzhan23@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-01>

Поступила 29 декабря 2023 г.; Пересмотрено 19 января 2024 г.; Принято 16 февраля 2024 г.

ACKNOWLEDGEMENTS/SOURCE OF FUNDING

The study was conducted on the basis of the Master's degree program of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan.

CONFLICT OF INTEREST

The authors state that there is no conflict of interest.

АЛҒЫС / ҚАРЖЫЛАНДЫРУ КӨЗІ

Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі магистратура бойынша білім беру бағдарламасының негізінде жүргізілді.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

БЛАГОДАРНОСТИ/ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование проводилось на основе образовательной программы по магистертуре Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

1 КІРІСПЕ

Елімізде жол құрылысы саласы маңызды мәселе болып табылады. Қазақстан Республикасының экономикасының жаңа деңгейге көтерілуіне байланысты әлемдік стандарттардың барлық талаптарына жауап беретін жаңа автомобиль жолдарын салу қажет. Жыл сайын мемлекеттік және муниципалдық бюджеттерден жолдарды салуға және жөндеуге үлкен қаражат бөлінеді. Жол желісін дамытудың жеткіліксіз деңгейі ел экономикасы мен халқы үшін айтарлықтай шығындарға әкеледі және Қазақстан Республикасының әлеуметтік – экономикалық даму қарқынының маңызды инфрақұрылымдық шектеулерінің бірі болып табылады.

Осы автокөлік жолын қалпына келтіру мен бақылау қажеттілігіне байланысты дамытуда Бабков В.Ф., Могилевич В.М., Некрасов В.К., Тулаев А.Я., Ситников Ю.М. сынды ғалымдардың еңбектерін атап өтуге болады. Бүгінгі таңда осы еңбектердегі ақпараттарды пайдалана отырып түрлі жұмыстар жасалуда.

Автокөлік жолын қайта құру – әдетте сапасы нашар жолдарда жүргізілетін және трассаны өзгертпестен, бірақ жасанды құрылымдарды қалпына келтіре отырып, қолданыстағы жер төсемін пайдаланып жол киімдерін жаңартудан тұратын жұмыстар. Қайта құру жолды жоғары техникалық санатқа ауыстыру мүмкіндігін қамтамасыз етеді, бірақ жолдың ұзаруына әкелмейді.

II және III санаттағы жолдардың жобаларында көлік ағынының аралас құрамы кезінде көтерілу учаскелерінде 40-қа тең немесе одан асатын және учаскенің ұзындығы 0,5 км-ден асатын бойлық еңіс кезінде, сондай-ақ 30-дан 40-қа дейінгі бойлық еңіс кезінде және учаскенің ұзындығы 1 км-ден асатын бойлық еңіс кезінде көтерілу жағына жүк қозғалысына арналған жүріс бөлігінің қосымша жолағын орнату көзделеді ([Atroshko et al., 2003](#); [Andronov et al., 2005](#)).

Инженерлік құрылыстарды салу процесінде жүргізілетін геодезиялық жұмыстар кешенін толық талдау, құрылыстағы геодезиялық қамтамасыз ету мәселелерін талқылау және олардың оңтайландыру жолдарын қарастыру үшін заманауи геодезиялық өлшеу әдістері пайдаланылады.

Реконструкцияға автомобильдердің жылдамдығын, өткізу қабілетін, қозғалыс қауіпсіздігін немесе рұқсат етілген осьтік жүктемелерін жоғарылатуды қамтамасыз ететін жолдардың техникалық параметрлері мен сипаттамаларын едәуір арттыру жөніндегі іс-шаралар кешені де жатқызылады.

Жол учаскесінің көліктік-пайдалану жағдайын қалпына келтіру үшін мынадай негізгі жобалық шешімдер тағайындалады:

- көріну және тегістігі жеткіліксіз учаскелерде бойлық бейіндегі автомобиль жолы трассасының параметрлерін жақсарту (ойықтарды орнату және үйінділерді толтыру);
- жол киімінің құрылымын ауыстыру;
- жер үсті дренажын қалпына келтіру;
- қолданыстағы нормативтік талаптарға сәйкес автомобиль жолын қозғалысты ұйымдастырудың техникалық құралдарымен жайластыру ([Volkova & Sidorova, 2023](#)).

Жолдың кедір-бұдырлығы жолдың еңісін өлшеуге болатын маңызды көрсеткіш болып табылады. Жолдарды салу қымбатқа түсетіндіктен, оларды күтіп ұстауға да қатысты; сондықтан жолдарға техникалық қызмет көрсетудің ғылыми тәсілі қажет. Жолдың кедір-бұдырлығы сонымен қатар жолдарға техникалық қызмет көрсету мен диагностика әдістерінің негізгі құрамдас бөлігі болып табылады.

Автомобиль жолдарын қайта құру кезінде көптеген учаскелерде жаңа жер төсемі салынуда. Жер төсемін салу процесі жол салудан өзгеше емес. Жұмыстың бұл түрі автожолдарды түзету, жоспардағы қисықтар радиусын ұлғайту учаскелерінде, елді мекендерді айналып өту кезінде, көшкіндер, шөгінділер және т.б. жүзеге асырылады, бірақ көбінесе автожолды қайта құру процесінде жер төсемін кеңейту жұмыстары жүргізіледі.

Жолдардың жағдайын бағалаудың бірнеше әдістері бар, олар қазіргі уақытта қолданылады. Оларға мыналар жатады: техникалық параметрлер мен сипаттамаларды салыстыру әдісі, техникалық параметрлер бойынша да, көлік-пайдалану көрсеткіштері бойынша да салыстыру әдісі, тұтынушылық қасиеттерді салыстыру әдісі. Техникалық параметрлер мен физикалық сипаттамалар бойынша күйді бағалаудың мәні осы параметрлер мен сипаттамалардың нақты мәндерін нормативті, талап етілетін немесе жобалық мәндермен салыстыру болып табылады.

Бұл мақалада әкімшілік жағынан қалпына келтірілетін автомобиль жолын қайта қалпына келтіру, алынған мәліметтерге талдау жасалды, ұсыныстар берілді.

2 ӘДЕБИЕТКЕ ШОЛУ

Жалпы жол құрлысы кезінде маңызды мәселе ретінде оны салуда, қайта қалпына келтіру кезінде геодезиялық әдістерді пайдалану және ең тиімдісін анықтау басты талап ретінде қойылады. Автокөлік жолын қайта құру туралы зерттеулер мен ізденістер жүргізілді. Өртүрлі іргелі ұғымдарды пайдалана отырып, зерттеудің мақсатына жетуіне ықпал етті.

Жөндеу жұмыстарының қолданыстағы жіктемесі күрделі жөндеу кезінде жөнделетін объектілердің көліктік-пайдалану сипаттамаларын едәуір жақсартуға, оларға берілген техникалық санаттағы жолдардың техникалық нормативтерін арттыруға, сондай-ақ жол төсемдері мен құрылыстарының беріктігін арттыруға мүмкіндік береді. Жол қауіпсіздігін және өткізу қабілеттілігін арттыруға және кептелістердің пайда болуын жоюға әкелетін автомобиль жолын қайта құру бойынша барлық шараларды қайта құру деп санауға болады ([Babkov, et al., 1978](#)).

Жолдардың көліктік-пайдалану жай-күйін бағалаудың аралас әдістері негізгі көліктік-пайдалану көрсеткіштері мен техникалық параметрлері мен сипаттамалары бойынша жолды бағалауды қамтиды. Олар жолдың жай-күйін бағалауға мүмкіндік береді, тек инженерлік құрылымды ғана емес, сонымен қатар инженерлік көлік құрылымын да жоғары жылдамдықпен және жүктемелермен автомобильдердің ыңғайлы және қауіпсіз қозғалысын қамтамасыз етуге арналған ([Vasiliev et al., 1998](#)).

Тәжірибені талдау жобалау ауа-райының климаттық факторларына қатысты уақытша факторлардың теріс әсерлерінің алдын алу немесе бейтараптандыру, ең алдымен бағытталған шаралардың рөлі бағаланбауында деген қорытынды жасауға негіз береді. Бұл жаңбырдың, қардың, боранның, қатты желдің, қозғалыс жағдайлары мен режимінің нормаларын сақтай отырып жобаланған жолдарда да жобада қарастырылғаннан өзгеше болуының басты себептерінің бірі болып табылады, ал жылдың қолайсыз кезеңдерінде ұстау шығындары айтарлықтай артады ([Vasiliev, 2015; Lupanov, et al., 2015](#)).

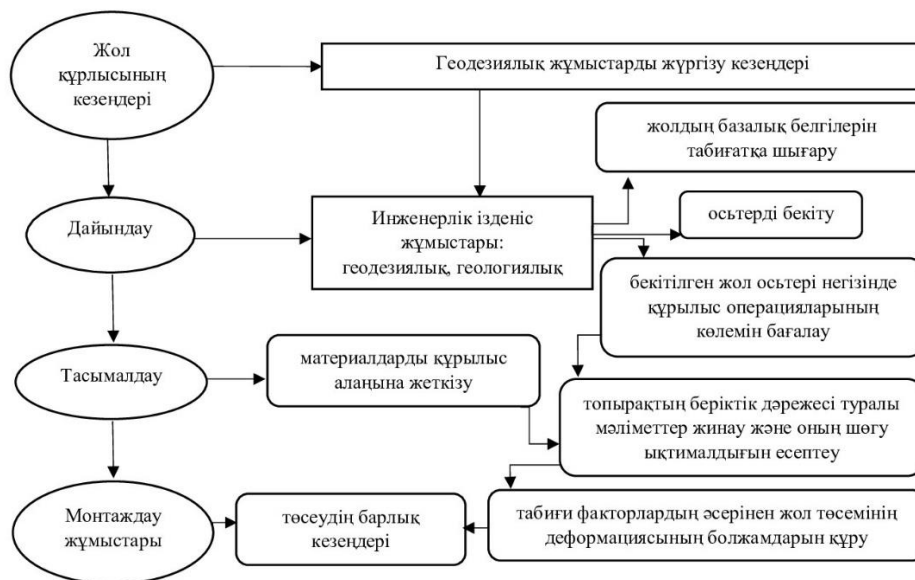
Жол киімдерін кеңейтудің кез-келген әдісімен себілген топырақтың жақсы конъюгациясына қол жеткізу керек, топырақ төсемінің ескі жаңа бөліктерінің бірлескен жұмысын қамтамасыз ететін үйінді топырағы. Олардың арасындағы байланыстың болмауы көлік құралдарының динамикалық әсерінен енетін судың әсерінен жол киімінің жаңа бөлігі мен жер төсемінің деформациясына әкелуі мүмкін.

Жол киімдерін реконструкциялаудың жергілікті жағдайларын айқындау сипаттағы реконструкцияланатын жолдың жай-күйіне, жергілікті жағдайларға, климаттық факторларға немесе жергілікті жердің рельефіне, кірме жолдардың және жол киімдерінің тиісті материалдарының болуына байланысты болады ([Kaan et al., 2016; Petrovich, 2021](#)).

3 МАТЕРИАЛДАР МЕН ӘДІСТЕР

Автокөлік жолының аумағын қайта құру кезіндегі инженерлік геодезиялық жұмыстарды бақылау Абай және Шығыс Қазақстан облыстары бойынша өтетін республикалық маңызы бар «Қалбатау-Майқапшағай» автокөлік жолы үшін қарастырылды. Автокөлік жолы жалпы ұзындығы 415 км құрайды, бүгінде жұмыстарды екі мердігер ұйым - Қазақстан (205 км

жөндеуде) және Қытай (210 км) жүргізуде. Қайта құру аясында 59 көпір, 4 көлік айрығы және теміржол арқылы өтетін 2 жол өтпесінің құрылысы қарастырылды және жалпы айналма жолдардың ұзындығы 309,4 км құрайды.



Сурет 1 – Жол құрылысы мен геодезиялық жұмыстардың кезеңдері (автордың материалдары)

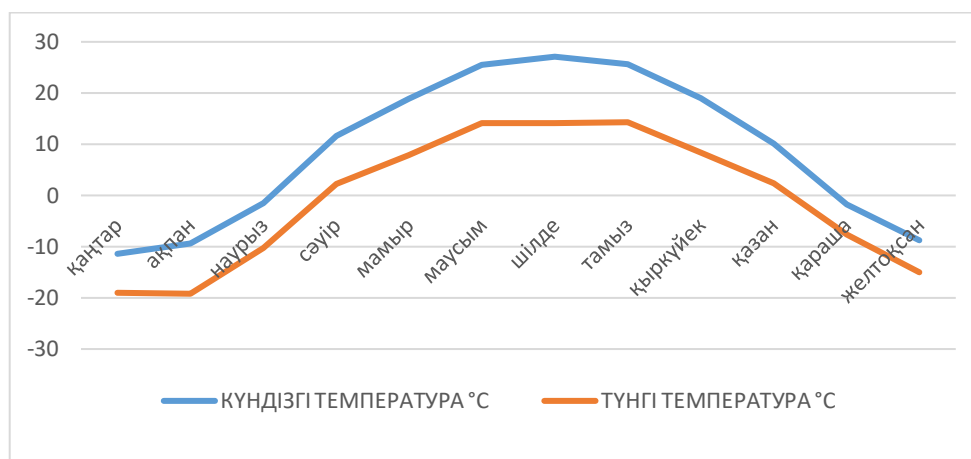
Инженерлік құрылыстарды салу процесінде жүргізілетін геодезиялық жұмыстар кешеніне **1-суретте** сызба түрінде толық талдау жасалып, құрылыстағы геодезиялық қамтамасыз ету мәселелерін талқылау және оларды оңтайландыру жолдарын қарастыру, құрылыс жүргізу ауданының жоспарлары мен сызбаларын жасау, сонымен қатар шектеулерге сәйкес келетін есептеулер орындау жатқызылды. **2-суретте** қайта құру кезіндегі автокөлік жолының жалпы көрінісі ұсынылған.



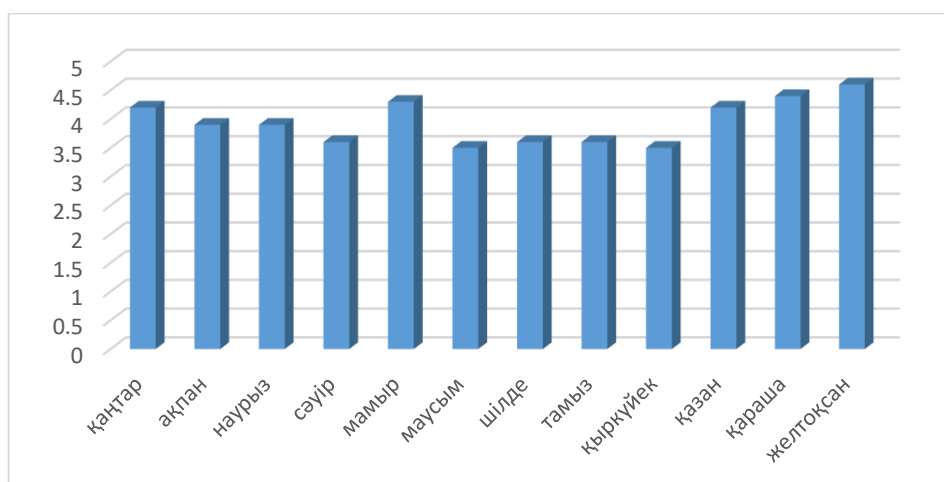
Сурет 2 – «Қалбатау-Майқапшағай» автокөлік жолының жалпы көрінісі (автордың материалдары)

Автомобиль жолын салу жобасы үшін аумақты қайта құру кезінде инженерлік-геодезиялық жұмыстарды бақылаудың бірнеше негізгі аспектілері ескерілді. Бастапқы қадам-қолданыстағы аймақ пен инфрақұрылымды егжей-тегжейлі зерттеу және картаға түсіру кіреді. Бұған топография, қолданыстағы құрылымдар, инженерлік коммуникациялар және басқа да тиісті ерекшеліктер туралы мәліметтер жинау кіреді. Бұл деректердің дәлдігі жоспарлау мен жобалаудың келесі кезеңдері үшін өте маңызды. Көлік кешенін қатынасын қайта жөндеу үшін,

ауданның **3-суретте** ауа температурасын, **4-суретте** желдің жылдамдығы көрсеткіштерін бақыланды (**Weather in Kalbatau by months, 2023**).



Сурет 3 – Қалбатау ауылының айлар бойынша ауа температурасы (автордың материалдары)



Сурет 4 – Қалбатау ауылының айлар бойынша желдің жылдамдығы (автордың материалдары)

Геотехникалық ізденістер: жер қойнауының жай-күйін және жер учаскесінің тұрақтылығын бағалау үшін геотехникалық ізденістер жүргізу қажет. Бұған Ұңғымаларды бұрғылау, топырақты сынау және учаскенің жалпы геологиялық сипаттамаларын бағалау кіреді. Осы зерттеулерден алынған мәліметтер тас жолды және онымен байланысты құрылыстарды жобалауға, сондай-ақ аумақты абаттандырудың кез келген қажетті шараларына әсер етеді.

Шығыс Қазақстан, Абай облыстары арқылы республикалық маңызы бар жолдардың 2807 шақырымы өтеді. Бұл – ел өңірлері арасындағы ең үлкен көрсеткіш. Бүгінгі таңда жолдардың 82,2% жақсы және қанағаттандырылғы жағдайда. **5-суретте** автомобиль жолдары саласын дамыту аясында Қазақстанда 2020 жылы республикалық маңызы бар жолдардың 4000-нан астам шақырымы құрылыс және қайта жаңарту жұмыстарымен қамтылса, көлік қозғалысы жолдардың 2600 шақырымында ашылуы көрсетілге (**JSC NC «KazAvtoZhol», 2023**).

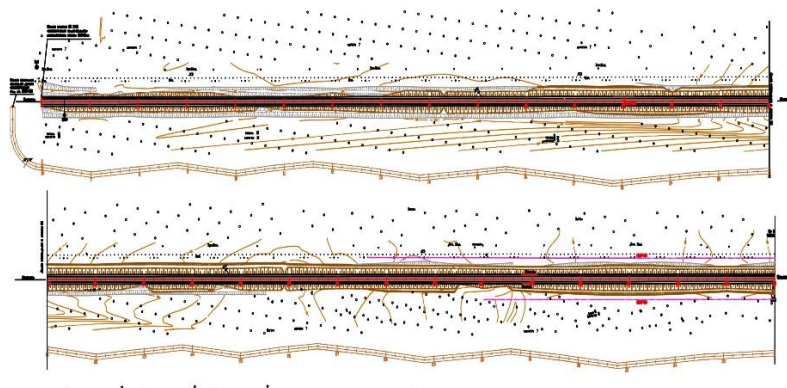


Сурет 5 – а) «Қалбатау-Майқапшағай» автомобиль жолының жалпы көрінісі. б) Шығыс Қазақстан облысы бойынша картадағы алып жатқан аумағы (автордың материалдары)

6-суретте реперлердің координаттары мен биіктіктері "GPS-system 1200" "Leica" фирмасының атомдары кезінде GPS-өлшемдерін пайдалана отырып анықталғаны көрсетілген. **7-суретте** автомобиль жолының бас жоспарының бір бөлігі көрсетілген. Өлшеулерді камералдық өңдеу "Leica" фирмасының GPS-деректеріне арналған бағдарламалық қамтамасыз етуді пайдалана отырып, тікелей объектіде орындалды (Leica Geosystems, 2023; Kamenchukov & Yarmolinsky 2017).



Сурет 6 – GPS қабылдағыш Leica GPS1200 (автордың материалдары)



Сурет 7 – «Қалбатау-Майқапшағай» автомобиль жолының бас жоспары (автордың материалдары)

Инженерлік-геодезиялық жұмыстар дәл бақылау желісін құруды талап етеді. Бұл жобаның бүкіл учаскесінде бақылау маркерлерін немесе тірек нүктелерін орналастыруды қамтиды. Бақылау желісі жобаны іске асырудың дәлдігі мен дәйектілігін қамтамасыз ететін барлық кейінгі өлшеулер мен зерттеулерге негіз болады (Krasikov, 2004; Kiyalbayev & Kiyalbai 2017).

Құрылыс объектісінің жобасын жергілікті жерге шығару жөніндегі жұмыстарды жүзеге асыруды бастамас бұрын **1-кестеде** жобаның талдамалық есебін, геодезиялық байланыстыруды, бөлу сызбаларын қалыптастыруды, геодезиялық жұмыстар өндірісінің жобасын әзірлеуді көздейтін арнайы геодезиялық дайындық орындалды.

Кесте 1

Пикет биіктік белгілері

Пикет №	Жобаланған жолдың осі бойынша жүру бөлігінің белгісі, м	Жер белгісі, м	Арақашықтық, м
0	105,65	104,58	50
1	105,81	105,08	50
2	105,75	104,65	50
3	105,72	104,75	50
4	105,84	103,92	50
5	105,86	104,65	50
6	105,56	104,67	50
7	105,71	104,33	50
8	105,60	104,03	50
9	105,88	104,00	50
10	105,80	104,51	50
11	106,05	104,93	50
12	106,02	104,96	50
13	105,58	104,53	50
14	104,57	103,37	50
15	103,03	102,21	50
16	102,00	100,83	50
17	101,54	100,12	50
18	101,14	99,65	50
19	100,47	98,90	50
20	100,06	98,31	50
21	100,44	99,19	50
22	101,07	99,64	50
23	101,53	100,17	50
24	101,99	100,86	50
25	102,42	101,26	50
26	103,08	101,74	50
27	103,31	101,59	50
28	102,54	101,23	50
29	101,36	100,04	50
30	100,22	98,42	50

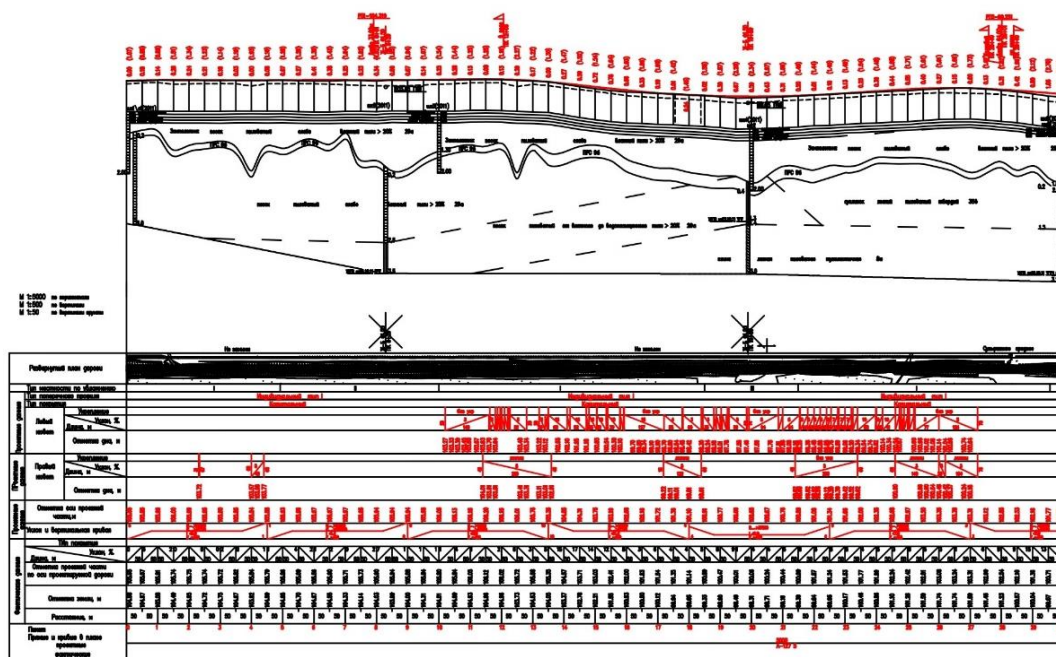
4 НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

Жобаға сәйкес салынған құрылыстың сипаттамалық нүктелерінің жоспарланған және көтерілген жағдайын анықтау үшін құрылыс учаскесінде орындалатын геодезиялық жұмыстар құрылысты жүзеге асырылатын бөлу жұмыс атқарылды.

Жер бетінің контурымен сәйкес келмейтін жол бетінің биіктік жағдайын табу жолдарының **8-суретте** бойлық профилін жобалау арқылы табылады. Жобалық сызық нүктелерінің белгілері жобалық белгілер деп аталады, олар есептеу арқылы анықталады. Жалпы желі жолының бойлық профиліндегі жобалау сызығы жер төсемінің осьтерімен жобаланғанын есте ұстаған жөн (**Osnovina & Rostov, 2011**).

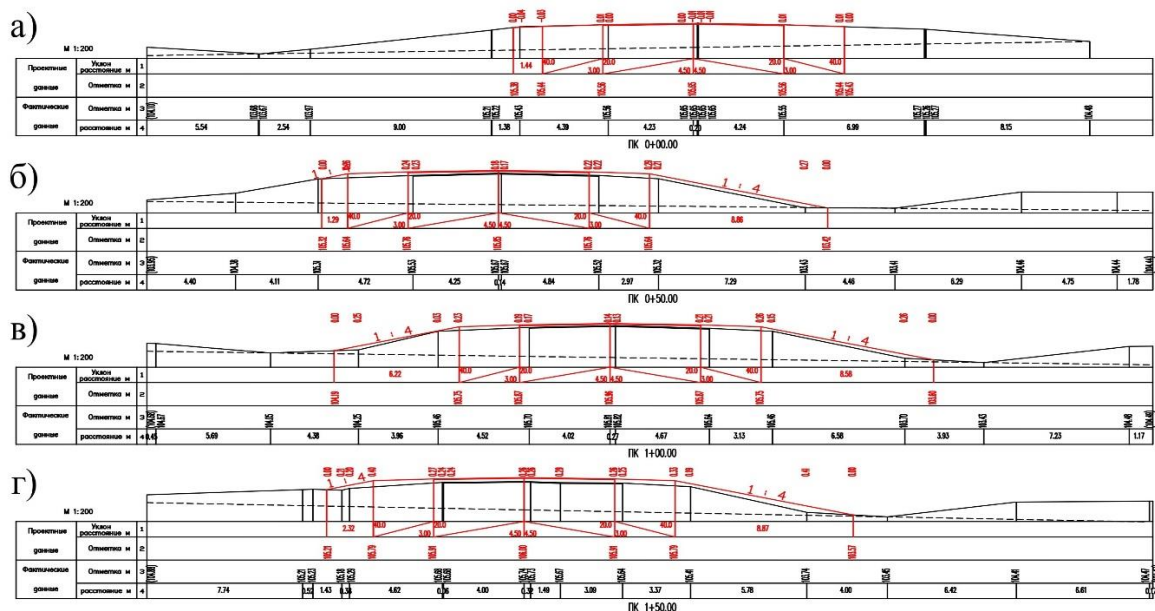
Жобалық белгі мен жер бетінің белгісі арасындағы айырмашылық жұмыс белгісі деп аталады. Егер жұмыс белгісі нөлден үлкен болса, әйтпесе ойықта болса, жол жағалауда өтеді. Жұмыс белгілері үйіндінің биіктігін немесе ойықтың тереңдігін сипаттайды. Жер бетінің сызығынан төмен 1:50 тік масштабтағы геологиялық зерттеулердің деректері бойынша топырақ қимасы сызылады. Дизайн сызығын қараңғыламау үшін топырақ бөлімі 2 см төмен қарай жылжиды.

Бойлық профильдің жобалық сызығы түзу учаскелерден және жобалық сызықтың сынықтарына тік қисықтардан тұрады. Тікелей учаскелер бір нүктенің екінші нүктеден асып кетуінің нүктелерді қосатын көлденең сызыққа қатынасы ретінде анықталады. Көлбеудің шамасы үш тәсілдің бірімен 20%₀ белгіленді. жолдардың бойлық профилінде көлбеу әдетте промилледе (%₀) көрсетіледі (**Khametov, 2013; Tsai et al., 2013**).



Сурет 8 – «Қалбатау-Майқапшағай» автомобиль жолының бойлық қимасы (автордың материалдары)

Жолдың бойында орналасуға, үйінділерді төгуге, қосалқы құрылыстарды салуға және жасыл екпелерді отырғызуға арналған рельеф жолағы жол жолағы немесе бөлу жолағы ретінде автокөлік жолының 9-суретте көлденең профілі сызылады.

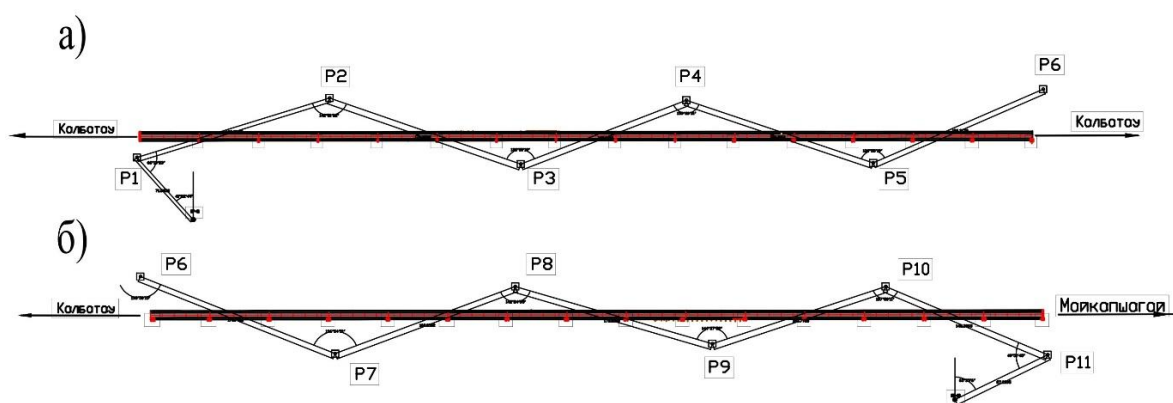


Сурет 9 – «Қалбатау-Майқапшағай» автомобиль жолының көлденең қимасы а) ПК 0+00.00 бойынша көлденең қимасы б) ПК 0+50.00 бойынша көлденең қимасы в) ПК 1+00.00 бойынша көлденең қимасы г) ПК 1+50.00 бойынша көлденең қимасы (автордың материалдары)

Жолдың көлденең профилі жол төсемін бөлгіш жолақтармен және жол жиектерімен, жол жиектерімен, беткейлерімен және дренаждарымен көрсетеді. Мұның бәрі жолды пайдаланудың қажетті шарты болып табылады. Жолды салу кезінде жеңілдетілген профиль жасау маңызды. Үйіндінің биіктігі 1-ден 20 метрге дейін өзгеруі мүмкін. Бұл жолдың тән айырмашылығы-жаңбыр суы мен еріген қардың ағып кетуіне мүмкіндік беретін көлденең профильдің жеңілдетілген түрі.

Деформацияларды бақылау және талдау: қайта құру процесінде жер бедері мен құрылыстардың үздіксіз мониторингі өте маңызды. Бұл топырақтың немесе құрылымдардың кез келген ықтимал деформацияларын, шөгінділерін немесе ығысуларын бақылауды қамтиды (Ivanov et al., 2020; Kamenchukov, 2015).

Кез келген өзгерістерді өлшеу және талдау үшін GPS, тахеометрлер және басқа геодезиялық құралдар сияқты әртүрлі әдістер қолданылады. Тұрақты бақылау 10-суретте жоспарланған жобадан кез-келген проблеманы немесе ауытқуды анықтауға көмектеседі, бұл уақытылы араласуға және түзету шараларын қабылдауға мүмкіндік береді.



Сурет 10 – «Қалбатау-Майқапшағай» автомобиль жолының полигометриялық жүрісі: а) R1-R6 реперлар аралығындағы полигометриялық жүріс б) R6-R11 реперлар аралығындағы полигометриялық жүріс (автордың материалдары)

Қалалар мен өнеркәсіптік алаңдарда геодезиялық негіздемені дамыту кезінде 1 және 2 разрядтағы 2, 3, 4-сыныпты полигометрияның барлық пункттері жоғарыда көрсетілген конструкциялардың тұрақты орталықтарымен бекітіледі (Osnovina & Rostov, 2011).

Желіні қалыңдатуға арналған деректер:

координаттары ПГ-41 $X=-18976,9543$; $Y=27507,3904$

$\alpha_{ПГ-41-1}=41^{\circ}22'44''$, арақашықтық $S=71,5652$.

Осы формула бойынша дирекциялық бұрыштарды табылады:

$$\alpha_n = \alpha_{\text{пред}} + 180^{\circ} - \beta \quad (1)$$

Тікелей геодезиялық есеп формулаларына сәйкес координаталардың өсуі анықталады:

$$\Delta X = d \cos \alpha \quad (2)$$

$$\Delta Y = d \sin \alpha \quad (3)$$

Алынған нәтижелер формулаға ауыстырылып X_B , Y_B келесі нүктелердің координаттарын алынып, 2-кестедегі ведомосте көрсетілді.

Кесте 2

Полигонометриялық жүріс ведомосі

№	Өлшенген бұрыштар	Дирекциялық бұрыштар	Арақашықтық S, м	Түзетілген өсімше, ΔX	Түзетілген өсімше, ΔY	Координата X, м	Координата Y, м
ПГ-41		41°22'44"		53,69	47,30	-18970,5713	27608,3897
R1	66°13'23"	155°9'21"	169,7377	-154,02	71,31	-19016,4905	27683,7805
R2	142°51'32"	192°17'49"	170,5222	-166,60	-36,31	-18868,3684	27519,0763
R3	138°50'18"	233°27'31"	149,6146	-89,08	-120,20	-18651,7617	27490,3172
R4	139°20'31"	274°7'0"	166,1163	11,92	-165,68	-18393,7294	27390,6571
R5	136°55'19"	116°13'31"	156,3178	114,68	-106,21	-18148,2129	27513,8125
R6	133°50'15"	317°11'41"	176,7002	176,39	10,34	-18845,0161	27468,5971
R7	136°54'51"	3°21'26"	162,0502	111,66	117,43	-18869,3719	27567,1323
R8	142°24'55"	46°26'35"	172,8168	17,98	171,87	-18688,41	27621,5723
R9	144°37'52"	84°1'40"	153,7720	-75,47	133,97	-18616,2623	27534,2448
R10	137°50'11"	119°23'48"	148,3065	-140,69	46,91	-18535,8706	27496,6123
R11	49°51'45"	161°33'37"	87,0395	74,27	45,37	-18184,816	27436,1396
ПГ-48		31°25'22"					
			$\sum d =$ 1713,0331			$\sum_{теор} = 1957^{\circ}$ 49'38"	$\sum_{практ} = 195$ 7°49'38''

Геодезиялық желілерді құрудың полигонометриялық әдісі пункттердің координаттарын көрсетілген, жүріс пункттеріндегі көлденең бұрыштарды және олардың арасындағы жақтарды өлшей отырып, жергілікті жерде орналасуы мақсатында жүргізілді.

Қалалар мен өнеркәсіптік алаңдарда геодезиялық негіздемені дамыту кезінде 1 және 2 разрядтағы 2, 3, 4-классты полигонометрияның барлық пункттері жоғарыда көрсетілген конструкциялардың тұрақты орталықтарымен бекітіледі. Қайта құру кезінде автокөлік жолына 4-классты полигонометриялық жүріс жүргізіліп, нәтижесі көрсетілді.

5 ҚОРЫТЫНДЫЛАР

Кез-келген инженерлік жоба сияқты, сапаны қамтамасыз ету және бақылау шаралары өте маңызды. Бұл барлық геодезиялық жұмыстардың дәл және сенімді орындалуын қамтамасыз ету үшін сапаны бақылаудың қатаң процедураларын енгізуді қамтиды. Өлшеу дәлдігін, жабдықты калибрлеуді және тиісті стандарттар мен сипаттамаларға сәйкестігін тексеру үшін тұрақты тексерулер мен аудиттер жүргізілді.

Қайта құруды геодезиялық қамтамасыз ету кезінде материалдарды жинау, атқарушылық түсірілімдер, қоюлау желілерін құру, бөлу жұмыстары, автожол осі мен инженерлік құрылыстардың осьтерін жергілікті жерге шығару және бекіту жұмыстары атқарылды. Бұдан басқа, автожолды қайта құрудың барлық кезеңдерінде техникалық бақылау және атқарушы түсірілімдер жүзеге асырылды.

Құрылысты геодезиялық пландық негізбен қамтамасыз ету және бөлу жұмыстары қарастырылып өтілген, сондай-ақ осы зерттеуде Қалбатау-Майқапшағай автокөлік жолының 1289-1292 км аумағын жобалау және қайта құру жұмыстарына қатысты полигонометриялық жүріс жобаланып, оның есебі шешілген. Бойлық және көлденең қимасы сызылды.

Қазіргі таңда зерттеу жұмыстарын талдау бойынша осындай қорытындыға әкелді:

- Қайта жаңарту жұмыстары толық аяқталғаннан кейін жолдың ені 9 метрге кеңейіп, III-шіден II-ші техникалық санаттағы жолға ауысады, қозғалыс жылдамдығы сағатына 120 км дейін рұқсат етіліп және де нысан 2 жолағы бар II техникалық санаттағы жолға сәйкестендірілді. Республикалық маңызы бар автожолдың жалпы ұзындығы 415 км. қайта жаңарту жұмыстары он учаскеде жүргізілді. Жоба аясында айналма жол, 18 көпір және 5 көлік айрығын салынды. Жол қозғалысына қатысушылардың қауіпсіздігі мен жайлылығын қамтамасыз ету, сондай-ақ көлік инфрақұрылымын қолдау және жақсарту қажеттілігі шешілді.

Жалпы, автожол аумағын қайта құру кезінде инженерлік-геодезиялық жұмыстарды бақылау жобаны табысты іске асыру үшін өте маңызды. Бұл мұқият жоспарлауды, дәл өлшеуді, үздіксіз бақылауды, сапаны бақылауды қамтиды.

Жол инфрақұрылымы қауіпсіздігінің мониторингі жүргізу арқылы автомобиль жолдарының қолданыстағы жол инфрақұрылымының қауіпсіз жұмыс істеуін, оны ұстап тұруды және жақсартуды қамтамасыз етуге бағытталған іс-шаралар кешенін зерттеуге мүмкіндік берді, сол арқылы жол қауіпсіздігіне және жайлылығына қол жеткізілді.

ӘДЕБИЕТТЕР

1. **Andronov, S. Y., Ivanov, A. F., & Kochetkov, A. V.** (2020). Repair of highways using fiber-containing asphalt concrete mixtures with dispersed binder. *Building materials*, 4(5), 62-67. (In Russ). <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-780-4-5-62-67> .
2. **Atroshko, E. K., Marendich, V. B., & Tkachev, A. A.** (2003). Geodetic works during surveys, construction and operation of railways and highways [Geodezicheskiye raboty pri izyskaniyakh, stroitel'stve i ekspluatatsii zheleznykh i shosseynykh dorog]. Retrieved from: <https://lyl.su/trb> (In Russ.).
3. **Babkov, V. F., Mogilevich, V. M., Nekrasov, V. K., Tulaev, A. Aluca, & Sitnikov, M.**, (1978). Reconstruction of highways. Retrieved from: <https://ru.djvu.online/file/3qxQyYGS7Zzum>

4. **JSC "NC "KazAvtoZhol"**. Kalbatau-Maikapshagai Highway. (2023). [cited November 28, 2023]. Retrieved from: <https://www.europe-china.kz/news/12410>
5. **Kaan, O., Hao, W., & Bekir, B.** (2016). Highway Repair Consolidation Feasibility. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/317033664_Highway_Repair_Consolidation_Feasibility
6. **Kamenchukov, A. V.** (2015). Assessment of the quality of individual works on the repair of road surfaces//The Far East: Problems of development of the architectural, construction and road transport complex: materials of the international scientific and practical conference. <https://sciup.org/143163581> .
7. **Kamenchukov, A. V., & Yarmolinsky, V. A.** (2017). Integrated efficiency assessment of road reconditioning. *Stroitel'stvo Unikal'nyh Zdanij i Sooruzenij*, 7(58), 7-17. <https://doi.org/10.18720/CUBS.58.1>
8. **Khametov, T. I.** (2013). Geodetic support for the design, construction and operation of buildings and structures [Geodezicheskoye obespecheniye proyektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii zdaniy i sooruzheniy] (In Russ.).
9. **Kiyalbayev, A. K., & Kiyalbai, S. N.** (2017). Operation of highways. Study guide. – Almaty-Moscow: MAADO, KazADI. [Ekspluatatsiya avtomobil'nykh dorog.] (In Russ.).
10. **Krasikov, O. A.** (2004). Monitoring and strategy of repair of highways. KazgosINTI.
11. **Leica Geosystems. Feature of GPS receiver Leica GPS1200.** (2023). [cited November 28, 2023]. URL: <https://www.geooptic.ru/static/files/leica-gps1200-ds.pdf>
12. **Osnovina, L. G., & Rostov, A.** (2011). Highways. Construction, repair, operation. [Avtodorogi. Stroitel'stvo, remont, ekspluatatsiya]. Retrieved from: <https://lyl.su/9Lg> (In Russ.).
13. **Petrovich, P. P.** (2021). Reconstruction of road surfaces of highways: an educational and methodological guide. [Rekonstruktsiya dorozhnykh pokrytiy avtomobil'nykh dorog]. Retrieved from: <https://lib.madi.ru/fel/fel1/fel22E605.pdf> (In Russ.).
14. **Tsai, Y., Ai, K., Wang, Z., & Pitts, E.** (2013). A mobile method for measuring transverse inclination using lidar technology. *Transportation research record*, 2367(1), 53-59. <https://doi.org/10.3141/2367-0>
15. **Vasiliev, A. P.** (2015). Reconstruction of highways : textbook for universities. [cited December 28, 2023]. Moscow: ASV Publishing House. Retrieved from: <https://prior.studentlibrary.ru/book/ISBN9785930939446.html>
16. **Vasiliev, P., Yakovlev, Y. M., & Koganzon, M. S.** (1998). Reconstruction of roads. Technology and organization of work. Moscow: Mosk. state automobile-road Institute. Retrieved from: <https://search.rsl.ru/ru/record/01000612435>
17. **Volkova, E. V., & Sidorova, D. S.** (2013). Reconstruction of highways in difficult natural conditions of Siberia and the Far East. Retrieved from: <https://cyberleninka.ru/article/n/rekonstruktsiya-avtomobilnyh-dorog-v-slozhnyh-prirodnyh-usloviyah-sibiri-i-dalnego-vostoka>
18. **Weather in Kalbatau by months. 365 Celsius.** (2023). Physical and geographical location of Kalbatau village. [cited November 28, 2023]. Retrieved from: https://pogoda.365c.ru/kazakhstan/georgiyevka/po_mesyacam

UDC 666.7
IRSTI 67.15.33
RESEARCH ARTICLE

STUDY OF THE PROPERTIES OF MODIFIED BINDER OBTAINED ON THE BASIS OF BENEFICIATION WASTE OF THE MINING AND PROCESSING PLANT

A.S. Yestemessova¹ , A.M. Zhilkibaeva^{1,*} , L.Y. Matveeva² 

¹International Educational Corporation, 050028, Almaty, Kazakhstan

²St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 190005, St. Petersburg, Russia

Abstract. *The introduction of active mineral additives into cement makes it possible to obtain concrete with high physical, mechanical and operational characteristics, namely, they increase the density, water resistance, frost, sulfate, alkali resistance and salt resistance of concretes and mortars, while reducing the consumption of clinker cement. The scale of construction of facilities using cement concrete is growing every year, which raises the question of reducing the consumption of clinker cement, due to the high energy intensity of production using active mineral additives. The use of active mineral additives in the form of waste from enrichment has high economic and environmental significance. The article examines the ways of using waste tailings of polymetallic ore enrichment in cement as a complex modified binder with an active mineral additive. To select the optimal ratio of silica and Balkhash GOK enrichment waste, their pozzolan activity was determined, which is 3.8-4 times higher for silica than for BGOK waste. The pozzolan activity of Balkhash GOK enrichment waste 16 hours after mixing with lime solution is 24 mg/g, and microsilicon is 114 mg/g. The pozzolan activity of a complex mineral additive for cements consisting of 60% of Balkhash GOK enrichment waste and 40% of microsilicon is 48 mg/g. The introduction of 40% silica into the Balkhash GOK enrichment waste increases the pozzolan activity of the complex additive by 2 times. This made it possible to obtain a modified binder using a complex mineral additive of up to 20%.*

Keywords: *active additive, modified binder, enrichment waste, pozzolan activity, microsilicon, mineral additive.*

***Corresponding author**

Aliya Zhilkibaeva, e-mail: aliya8706@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-02>

Received 05 February 2024; Revised 27 March 2024; Accepted 15 April 2024

ТАУ-КЕН БАЙЫТУ КОМБИНАТЫНЫҢ БАЙЫТУ ҚАЛДЫҚТАРЫ НЕГІЗІНДЕ АЛЫНҒАН МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ТҰТҚЫР ЗАТТЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

А.С. Естемесова¹ , А.М. Жилкибаева^{1,*} , Л.Ю. Матвеева² 

¹Халықаралық білім беру корпорациясы, 050028, Алматы, Қазақстан

²Санкт-Петербург мемлекеттік сәулет-құрылыс университеті, 190005,
Санкт-Петербург, Ресей

Аңдатпа. Цементке белсенді минералды қоспаларды енгізу жоғары физикалық-механикалық және пайдалану сипаттамалары бар бетон алуға мүмкіндік береді, атап айтқанда бетондар мен ерітінділердің тығыздығын, су өткізбейтіндігін, аязға, сульфатқа, сілтіге және тұзға төзімділігін арттырады, сонымен бірге клинкер цементінің шығынын азайтады. Цемент бетонын қолданатын объектілерді салу ауқымы жыл сайын өсіп келеді, нәтижесінде белсенді минералды қоспаларды қолдана отырып, өндірістің үлкен энергия сыйымдылығына байланысты клинкер цементінің шығынын азайту мәселесі туындайды. Байыту өндірістерінің қалдықтары түрінде белсенді минералды қоспаларды пайдалану жоғары экономикалық және экологиялық маңызға ие. Мақалада белсенді минералды қоспамен күрделі модификацияланған тұтқыр ретінде цемент құрамында полиметалл кендерін байыту қалдықтарын қолдану әдістері зерттелген. Микрокремнезем мен Балқаш КБК байыту қалдықтарының оңтайлы арақатынасын таңдау үшін олардың позолан белсенділігі анықталды, ол микрокремнезем үшін БГОК қалдықтарынан 3,8-4 есе жоғары. Әк ерітіндісімен араластырғаннан кейін 16 сағаттан соң Балқаш КБК байыту қалдықтарының позолан белсенділігі 24 мг/г, ал микрокремнезем – 114 мг/г құрайды. Балқаш КБК байыту қалдықтарының 60% - из және микрокремнеземнің 40% - из құрайтын цементтерге арналған кешенді минералды қоспаның позолан белсенділігі 48 мг/г құрайды. Балқаш КБК байыту қалдықтарының құрамына микрокремнеземнің 40% - енгізу кешенді қоспаның позолан белсенділігін 2 есе арттырады. Бұл 20% дейін күрделі минералды қоспаны қолдана отырып модификацияланған тұтқыр зат алуға мүмкіндік берді.

Түйін сөздер: белсенді қоспа, модификацияланған тұтқыр, байыту қалдықтары, пуццолан белсенділігі, микрокремнезем, минералды қоспа.

*Автор-корреспондент

Алия Жилкибаева, e-mail: aliya8706@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-02>

Алынды 05 ақпан 2024; Қайта қаралды 27 наурыз 2024; Қабылданды 15 сәуір 2024.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННОГО ВЯЖУЩЕГО ПОЛУЧЕННОГО НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ ГОК

А.С. Естемесова¹ , А.М. Жилкибаева^{1,*} , Л.Ю. Матвеева² 

¹ Международная образовательная корпорация, 050028, Алматы, Казахстан

² Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный Университет, 190005, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Введение активных минеральных добавок в цемент дает возможность получить бетон с высокими физико-механическими и эксплуатационными характеристиками, а именно повышают плотность, водонепроницаемость, морозо-, сульфато-, щелочестойкость и солестойкость бетонов и строительных растворов, уменьшая одновременно расход клинкерного цемента. Масштабы строительства объектов с использованием цементного бетона растут с каждым годом, вследствие чего встает вопрос о сокращении расхода клинкерного цемента, в связи с большой энергоемкостью производства, используя активные минеральные добавки. Использование активных минеральных добавок в виде отходов производств обогащения имеет высокую экономическую и экологическую значимость. В статье исследованы способы применения отходов хвостов обогащения полиметаллических руд в составе цемента, как комплексного модифицированного вяжущего с активной минеральной добавкой. Для подбора оптимального соотношения микрокремнезема и отходов обогащения Балхашского ГОК определена их пуццолановая активность, которая составляет для микрокремнезема в 3,8-4 раза выше, чем у отходов БГОК. Пуццолановая активность отходов обогащения Балхашского ГОК через 16 часов после смешивания с раствором извести составляет 24 мг/г, а микрокремнезема – 114 мг/г. Пуццолановая активность комплексной минеральной добавки для цементов состоящего из 60% отходов обогащения Балхашского ГОК и 40% микрокремнезема составляет 48 мг/г. Введение в состав отходов обогащения Балхашского ГОК 40% микрокремнезема повышает пуццолановую активность комплексной добавки в 2 раза. Что позволило получить модифицированное вяжущее с применением комплексной минеральной добавки до 20%.

Ключевые слова: активная минеральная добавка, модифицированное вяжущее, отходы обогащения, пуццолановая активность, микрокремнезем.

*Автор-корреспондент

Алия Жилкибаева, e-mail: aliya8706@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-02>

Поступила 05 февраля 2024 г.; Пересмотрено 27 марта 2024 г.; Принято 15 апреля 2024 г.

ACKNOWLEDGEMENTS/SOURCE OF FUNDING

The study was conducted using private sources of funding.

CONFLICT OF INTEREST

The authors state that there is no conflict of interest.

АЛҒЫС/ҚАРЖЫЛАНДЫРУ КӨЗІ

Зерттеу жеке қаржыландыру көздерін пайдалана отырып жүргізілді.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

БЛАГОДАРНОСТИ/ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование проводилось с использованием частных источников финансирования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

1 ВВЕДЕНИЕ

Использование отходов обогащения горно-обогатительных комбинатов (ГОК) для создания модифицированных вяжущих материалов представляет собой важное направление в области строительных материалов и экологической инженерии. Модифицированные вяжущие материалы, полученные на основе отходов обогащения, обладают рядом уникальных свойств, которые делают их привлекательными для применения в различных строительных и дорожных конструкциях. К таким свойствам можно отнести повышенную прочность, улучшенную морозостойкость и устойчивость к агрессивным средам. Эти характеристики обеспечиваются за счет оптимального подбора компонентов и условий синтеза, что является предметом текущих научных исследований.

Введение отходов обогащения в состав вяжущих материалов не только способствует их утилизации, но и позволяет создать более устойчивые и экологически безопасные строительные решения. Настоящее исследование направлено на изучение физико-механических свойств модифицированных вяжущих материалов, разработанных на основе отходов ГОК, и оценку их потенциала для широкого практического применения.

Для решения проблем, связанных с экономией невозпроизводимых природных ресурсов, необходимо переходить на современные методы получения бетонов нового поколения, а именно на производство модифицированных бетонов с применением модифицированных вяжущих. Основой такого подхода является частичное замещение клинкера, самого дорогого цементной составляющей, тонкодисперсными активными минеральными компонентами природного либо техногенного происхождения, обладающими значительной внутренней энергией и химической активностью. Для получения высококачественных модифицированных вяжущих необходимо целенаправленно управлять технологией производства на основе применения активных минеральных компонентов, использования химических модификаторов и эффективных технологических приемов для активации их свойств. Таким образом, разработка эффективных составов модифицированных вяжущих с применением тонкодисперсных активных минеральных добавок для производства модифицированного бетона, актуальна для современного строительного материаловедения.

2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Анализ развития цементной промышленности, позволяет сделать вывод, что в технологию производства портландцементного клинкера активно вводятся активные минеральные добавки, которые далее применяются для производства высокопрочных бетонов. В странах Западной Европы выпускают клинкерные вяжущие, которые содержат до 35 % активных минеральных добавок, до 20 % известняка и до 80 % комплексных добавок, включающих доменный шлак, каменноугольную золу-унос и др., что связано с необходимостью энергосбережения при производстве портландцемента. Известно, что на 1 тонну портландцементного клинкера расходуется до 230 кг условного топлива, а на сушку минеральных добавок до 20 кг/т (Nalimov & Mulchenko, 1969, Singh et al., 2017; Guvalov et al., 2017; Berdov et al., 2014; Zhakipbekov & Shaltabayeva, 2009; Pshenichnyi, 2019). Увеличение содержания минеральных добавок дает возможность для более полной реализации использования их гидравлической реакционной активности, и наблюдается положительное влияние их на формирование структуры цементного камня и бетонов.

3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для получения модифицированного вяжущего были использованы следующие материалы: сульфатостойкий портландцемент ТОО «Каспий Цемент» ЦЕМ I 42,5 СС, отходы хвостов обогащения Балхашского горно-обогатительного комбината (ГОК) и микрокремнезем ТОО «General Service», (Караганда).

Характеристики сульфатостойкого цемента приведены в [Таблице 1](#).

Таблица 1

Характеристика сульфатостойкого портландцемента ТОО «Каспий Цемент» ЦЕМ I 42,5 СС, (GOST 22266-2013, 2013)

Наименование показателей, единица измерения	НД на методы испытаний	Нормы по НД	Фактическое значение
Тонкость помола, % (остаток на сите 009 мм)	ГОСТ 30744-2001	Не нормируется	1,3
Удельная поверхность по Блейну, см ² /г	ГОСТ 30744-2001	Не менее 2500	3500
Нормальная густота цементного теста, %	ГОСТ 30744-2001	Не нормируется	26,2
Равномерность изменения объёма, мм	ГОСТ 30744-2001	Не более 10,0	1,5
Начало схватывания, мин	ГОСТ 30744-2001	Не ранее 60,0	140
Прочность на сжатие в возрасте 2 суток, МПа	ГОСТ 30744-2001	Не менее 10,0	26,5
Прочность на сжатие в возрасте 28 суток, МПа	ГОСТ 30744-2001	Не менее 42,5 Не более 62,5	46,9
Потери массы при прокаливании, %	ГОСТ 5382-91	Не более 3,0	2,53
Содержание оксида серы SO ₃ , %	ГОСТ 5382-91	Не более 2,7	2,46
Содержание хлорид-иона Cl, %	ГОСТ 5382-91	Не более 0,1	0,01
Содержание нерастворимого остатка, %	ГОСТ 5382-91	Не более 3,0	0,56
Содержание C ₃ A, %	ГОСТ 22266-2013	Не более 3,5	2,97
Содержание Al ₂ O ₃ , %	ГОСТ 22266-2013	Не более 5	4,18
Содержание MgO, %	ГОСТ 22266-2013	Не более 5	0,77

Применяемые добавки в зависимости от их влияния на свойства цемента, подразделяют на активные минеральные добавки, наполнители, технологические добавки и добавки, регулирующие основные и специальные свойства цемента.

Активные минеральные добавки при этом должны обладать гидравлическими или пуццолановыми свойствами. Проявление добавками указанных свойств определяют, как по внешним признакам (по концу схватывания, прочности и водостойкости схватившегося теста) или путем прямого измерения их химической активности (Zhil kibayeva, 2021).

Пуццолановую активность комплексной минеральной добавки различного состава определяли по ГОСТ 25094-2015 «Добавки активные минеральные для цементов. Метод определения активности» (Zhil kibayeva & Yestemessova, 2020) по показателю поглощения извести из насыщенного раствора (Таблица 2).

Таблица 2

Пуццолановая активность комплексной минеральной добавки различного состава (материалы авторов)

Состав комплексной минеральной добавки, %		Поглощение CaO, мг/г через час		
отходы БГОК	микрокремнезем	6	12	16
100	0	18	21	24
90	10	21	27	31
80	20	26	30	36
70	30	31	36	42
60	40	36	42	48
50	50	41	49	54
40	60	44	54	60
30	70	53	62	69
20	80	64	71	83
10	90	66	89	98
0	100	69	102	114

Для определения количества поглощения CaO минеральными компонентами в предварительно нагретые и термостатированные при температуре 80°C насыщенные растворы извести вводим исследуемые минералы и тщательно перемешиваем. После определенного времени выдерживания раствора, измеряем титрованием концентрацию Ca(OH)₂ (GOST 25094-2015, 2015).

4 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Результаты исследований показывает, что пуццолановая активность микрокремнезёма в 3,8-4 раза выше, чем у отходов БГМК (**Zhakupbekov et al., 2021**). Пуццолановая активность отходов БГМК через 16 часов после смешивания с раствором извести составляет 24 мг/г, а микрокремнезёма – 114 мг/г (**Рисунок 1**).

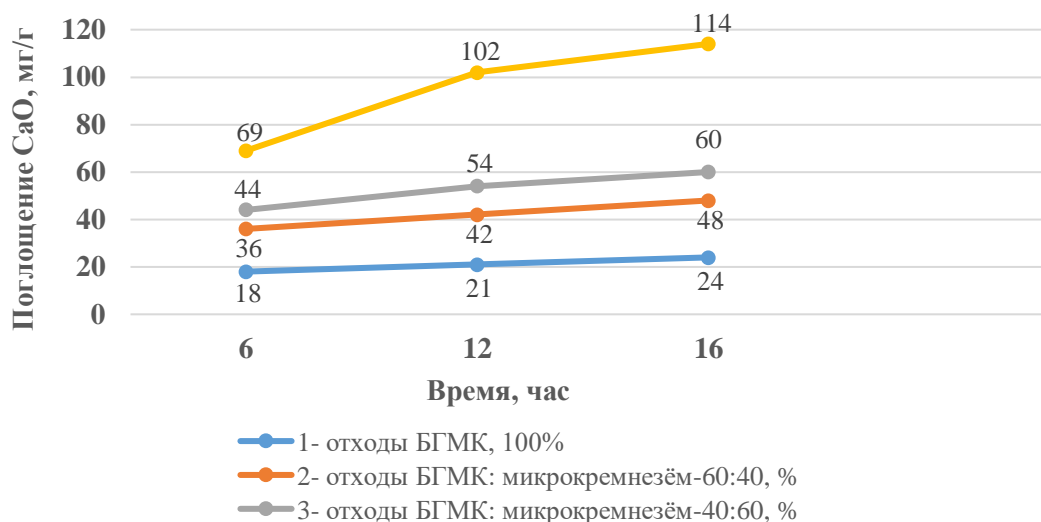


Рисунок 1 – Пуццолановая активность комплексной минеральной добавки

Кинетика поглощения извести отходами БГМК в начальном периоде (в течение 6 часов) равен 3,0 мг/г, микрокремнезёма – 11,5 мг/г. После 6 часов испытаний скорость поглощения извести отходами БГМК и микрокремнезёмом уменьшается и составляет соответственно 0,5 и 5,5 мг/г за час.

Из **Рисунка 1** (кривая красного цвета) видно, что введение в состав отходов обогащения Балхашского ГОК 40% микрокремнезёма повышает пуццолановую активность комплексной минеральной добавки в 2 раза.

Раздельный процесс поглощения извести тонкомолотым кремнезёмом на два периода отмечен в работе (**Shpynova & Chih, 1978**). Первый период соответствует резкому начальному изменению концентрации гидроксида кальция и вызван адсорбцией $\text{Ca}(\text{OH})_2$ на частицах SiO_2 . Второй период характеризуется меньшей скоростью процесса и продолжающимся понижением концентрации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ вследствие осаждения из раствора гидросиликата кальция, образующегося в результате химической реакции.

Таблица 3

Составы комплексной минеральной добавки, % (материалы авторов)

Состав комплексной минеральной добавки, %		Пуццолановая активность, мг/г	Нормальная густота, %
отходы БГМК	микрокремнезём		
100	-	24,0	27,0
70	30	42,0	27,5
60	40	48,0	28,0
50	50	54,0	29,0

Введение в состав активных минеральных добавок микрокремнезёма увеличивает водопотребность смеси (**Таблица 3**). Поэтому, дальнейшие исследования влияния

комплексной минеральной добавки на свойства модифицированного вяжущего на основе сульфатостойкого цемента и тяжелых бетонов с их применением проводили со следующим составом: 60% отходы обогащения Балхашского ГОК + 40% микрокремнезем.

Для получения модифицированного вяжущего с заданными свойствами, экспериментально были проведены лабораторные исследования для определения его физико-механических свойств.

В **Таблице 4** и **Рисунке 2** приведены данные по прочности модифицированных вяжущих в различном соотношении компонентов: сульфатостойкого портландцемента ТОО «Каспий Цемент» ЦЕМ I 42,5 СС и комплексной минеральной добавки.

Таблица 4

Прочность модифицированного вяжущего в зависимости от состава комплексной минеральной добавки (материалы авторов)

Составы, % (сульфатостойкий портландцемент ТОО «Каспий Цемент» ЦЕМ I 42,5 СС и комплексная минеральная добавка)	Сроки твердения, сут.			
	1	7	14	28
	Предел прочности при сжатии, МПа			
60/40	4,17	8,64	12,09	14,4
70/30	10,33	17,20	25,8	28,75
80/20	20,49	30,84	46,15	51,2
85/15	17,48	30,84	42,20	46,8
90/10	14,96	27,02	40,03	44,67
95/5	11,31	17,4	26,24	29,16

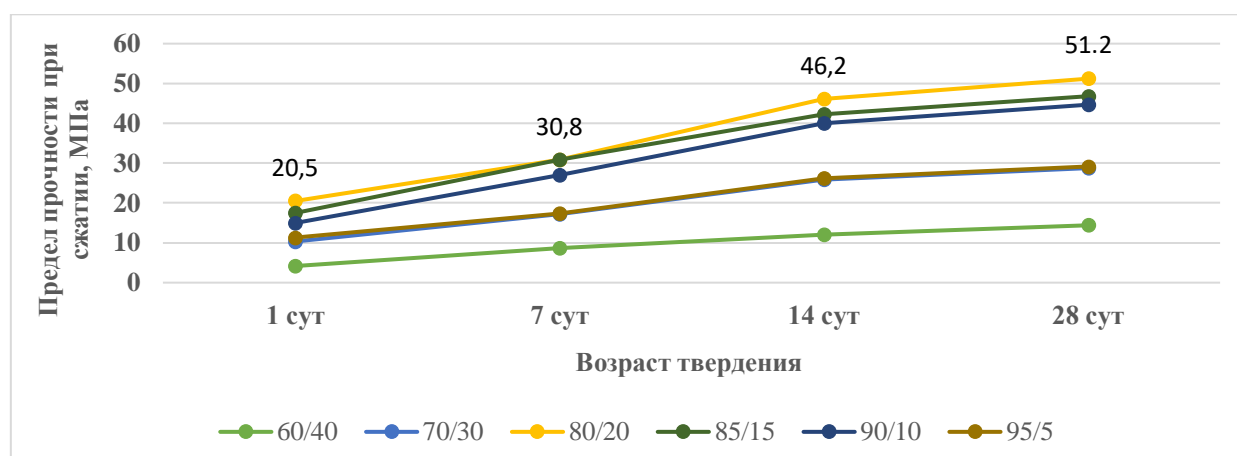


Рисунок 2 - Прочность модифицированного вяжущего в зависимости от количества комплексной минеральной добавки

В работе использованы математические методы для построения эмпирических формул, описывающих кривую соотношения 80/20 на графике в соответствии с **Рисунком 2**.

На основе вышеприведенных результатов исследований и согласно планированию исследований по представленным кривым на **Рисунке 2** составили математическую модель. В данном случае математическая модель – однофакторная, так как представлены зависимости набора прочности модифицированного вяжущего от сроков твердения.

Кривые на **Рисунке 2** по Э.М. Менчеру и А.И.Шафету (**Mencher & Shafet, 1971**) подходят под математическую модель, которая описывается уравнением:

$$y = a + bx \quad (1)$$

Далее дифференцируя, получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} an + b\sum x = \Sigma y \\ a \cdot \sum x + b \cdot \sum x^2 = \Sigma xy \end{cases} \quad (2)$$

Составим таблицу (**Таблица 5**) исходных данных.

Таблица 5

Коэффициенты регрессии (материалы авторов)

n	x	y	x ²	xy
1	1	20.49	1	20.49
2	7	30.84	49	215.88
3	14	46.15	196	646.1
4	28	51.2	784	1433.6
n=4	$\Sigma 50$	$\Sigma 148,68$	$\Sigma 1030$	$\Sigma 2316,07$

Подставляя получим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} 4a + 50b = 148,68 \\ 50a + 130b = 2316,07 \end{cases} \quad (3)$$

Длинную систему уравнений решали путем нахождения детерминантов:

$$\Theta = 1620 \quad (4)$$

$$\Theta_a = 37336,9 \quad (5)$$

$$\Theta_b = 1845,28 \quad (6)$$

Таким образом, имеем следующие значения коэффициентов уравнения:

$$a = 23,05 \quad (7)$$

$$b = 1,14 \quad (8)$$

В данном случае для кривой 3, которая соответствует оптимальному количеству содержанию активной минеральной добавки в модифицированном вяжущем (20%) уравнение регрессии примет вид:

$$\hat{y} = 23,05 + 1,14x \quad (9)$$

В связи с исследованием пуццолановой активности модифицированного вяжущего и нормальной густоты, рассмотрим математическую зависимость изменения прочности модифицированного вяжущего от количественного содержания комплексной минеральной добавки.

В данном случае используем математические методы построения эмпирических формул, модель представлена - однофакторная.

По Э.М. Менчуру и А.И. Шафету (**Mencher & Shafet, 1971**) подбираем модель:

$$y = ab^x \quad (10)$$

Тогда, производим преобразования, приводящие данную формулу к линейному типу:

$$\ln y = z; \quad (11)$$

$$\ln a = k_1; \quad (12)$$

$$\ln b = k_2. \quad (13)$$

В этом случае искомое уравнение примет следующий вид:

$$z = k_1 + k_2 \cdot x \quad (14)$$

Дифференцируя получаем следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} k_1 + k_2 \Sigma x = \Sigma z \\ k_1 \Sigma x + k_2 \Sigma x^2 = \Sigma x \cdot z \end{cases} \quad (15)$$

Теперь составим **Таблицу 6** исходных данных:

Таблица 6

Методика вычисления коэффициентов регрессии (материалы авторов)

x	y	z	x*z	x ²
5	29.16	1.6	8	25
10	44.67	2.3	23	100
15	46.8	2.7	40.5	225
20	51.2	3.0	60	400
30	28.75	3.4	102	900
40	14.4	3.7	148	1600
$\Sigma 120$	$\Sigma 214.98$	$\Sigma 16.7$	$\Sigma 381.5$	$\Sigma 3250$

Подставим данные таблицы 6 и получим:

$$\begin{cases} k_1 + 120k_2 = 16,7 \\ 120k_1 + 3250k_2 = 381,5 \end{cases} \quad (16)$$

Данную систему уравнений решаем путем нахождения детерминантов:

$$\Theta = 11150$$

(17)

$$\Theta_{k1} = 8495 \quad (18)$$

$$\Theta_{k2} = 1622,5 \quad (19)$$

Тогда получаем значения:

$$K_1 = -0,8 \quad (20)$$

$$K_2 = 0,15 \quad (21)$$

Определяем коэффициенты искомого уравнения:

$$a^{e^{k_1}} = e^{-0,8} = 0,45 \quad (22)$$

$$b^{e^{k_2}} = e^{0,15} = 1,16 \quad (23)$$

Таким образом, наше уравнение регрессии примет следующий вид:

$$y = 0,45 * 1,16^x \quad (24)$$

Выведенные нами математические формулы путем использования однофакторной модели, позволяют в дальнейшем прогнозировать основные показатели исследуемого нами материала, модифицированного вяжущего на основе отходов ГОК и микрокремнезема, не проводя дальнейшие экспериментальные исследования.

В **Таблице 7** приведены данные о влиянии добавляемой комплексной минеральной добавки на сроки схватывания цементного теста.

Таблица 7

Влияние комплексной минеральной добавки на сроки схватывания (материалы авторов)

Вид вяжущего вещества	Нормальная плотность, %	Сроки схватывания, ч - мин	
		начало	конец
ЦЕМ I 42,5 СС	26,2	2-20	4-10
МВ-Д20	26,5	2-40	4-30

Конец схватывания теста модифицированного вяжущего МВ-Д20 наступает через 160 мин, что на 20 мин позже по сравнению с цементным тестом без добавки. В конце периода повышает скорость структурообразования и сокращает период от начала до конца схватывания. Период схватывания при этом равняется с периодом цементного теста без добавки.

Однако, по мнению автора ([Slavcheva et al. 2020](#)), традиционные «сроки схватывания» полностью не отражают кинетики структурообразующих процессов цементных систем.

Введение в состав цемента комплексной добавки незначительно увеличивает водопотребность смеси. Это обуславливается не только отведением воды на смачивание добавок, но и тем, что они вследствие действия поверхностных сил изменяют свойства прилегающих к нему слоев цементного теста. Изменяя нормальную плотность цементного теста, комплексная добавка оказывает заметное воздействие и на сроки схватывания.

Спектральный анализ модифицированного вяжущего с 20% комплексной минеральной добавкой (МВ-Д20) приведен на [Рисунке 3](#) и [Таблице 8](#). Результаты анализа показывают, что химический и минералогический составы модифицированного вяжущего соответствуют требованиям ГОСТ 22266-2013 «Цементы сульфатостойкие. Технические требования» ([GOST 22266-2013](#)).

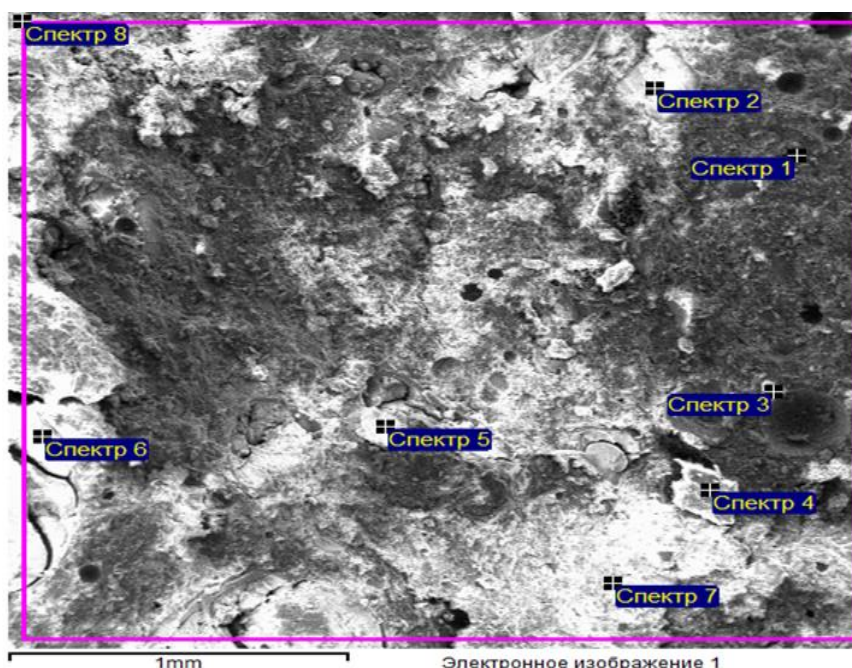


Рисунок 3 – Спектры рентгеновской флуоресценции и модифицированного вяжущего МВ-Д20 (материалы авторов)

Таблица 8

Элементный состав модифицированного вяжущего МВ-Д20 (материалы авторов)

Спектр	Концентрация обнаруженных элементов, % по массе										Итого
	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe	
C1	1,44	48,29	-	-	1,23	8,09	1,19	-	35,42	1,6	100,0
C2	5,84	49,40	1,08	0,68	-	33,15	-	1,84	8,70	-	100,0
C3	6,80	51,47	-	0,55	3,72	13,56	1,01	1,51	21,20	-	100,0
C4	6,25	56,45	-	0,48	1,40	8,87	1,51	-	24,21	0,90	100,0
C5	-	31,31	0,87	-	-	51,05	-	5,73	11,05	-	100,0
C6	3,90	60,27	1,31	-	-	29,38	-	2,72	2,43	-	100,0
C7	-	21,25	-	-	0,86	6,12	2,14	-	67,28	2,4	100,0
C8	9,49	51,70	-	0,36	0,94	10,43	0,86	0,40	24,76	1,1	100,0
Макс.	9,49	60,27	1,31	0,68	3,72	51,05	2,14	5,73	67,28	2,4	
Мин.	3,44	21,25	0,87	0,36	0,86	6,12	0,86	0,40	2,43	0,9	

Таким образом, активация отходов обогащения Балхашского ГОК микрокремнезёмом, увеличивая химический потенциал микрочастиц, существенно повышает химическую активность комплексной добавки (Zhilkeyeva et al., 2022). Проведенные исследования показали, что введение в состав отходов обогащения Балхашского ГОК 40% микрокремнезёма повышает пуццолановую активность комплексной добавки в 2 раза. Модифицированное вяжущее полученное на основе комплексной минеральной добавки сокращает водопотребность цементного теста на 18%, и увеличивает при сжатии на 9%.

Определены признаки пригодности техногенного сырья ГОКов для получения КСМ различного назначения и прогноза их основных свойств: повышение плотности, прочности и повышение агрессивной стойкости. Эти признаки основаны на химико-минералогическом составе и на содержании в техногенном сырье тонкодисперсных и наночастиц влияющих на их межфазные контакты.

Имеются данные, что тонкодисперсный кремнезем ускоряет твердение смеси за счет увеличения границы раздела фаз внедренными наночастицами, что сопровождается дополнительным уплотнением и увеличением концентрации той части твердой фазы, которая является основным носителем эффекта упрочнения. Эффект активирования твердения композиционной смеси сопровождается ростом тепловыделения, который могут усиливать тонкодисперсные частицы и наночастицы содержащиеся в техногенном сырье

Известно (Singh et al., 2017; Guvalov et al., 2017; Berdov et al., 2014; Zhakipbekov & Shaltabayeva, 2009; Pshenichnyi, 2019), что применение модифицированного вяжущего в технологии бетона по сравнению с обычным цементом позволяет значительно снизить водопотребность бетонных смесей и интенсифицировать твердение бетона, увеличить его прочностные свойства.

5 ВЫВОДЫ

1. Для выбора оптимального соотношения микрокремнезема и отходов обогащения Балхашского ГОК в составе комплексной добавки определены их пуццолановая активность. Пуццолановая активность микрокремнезёма в 3,8-4 раза выше, чем у отходов БГОК. Пуццолановая активность отходов обогащения Балхашского ГОК через 16 часов после смешивания с раствором извести составляет 24 мг/г, а микрокремнезёма – 114 мг/г.

Кинетика поглощения извести отходами обогащения Балхашского ГОК в начальном периоде (в течение 6 часов) равен 3,0 мг/г, микрокремнезёма – 11,5 мг/г. После 6 часов испытаний скорость поглощения извести отходами БГОК и микрокремнезёмом уменьшается и составляет соответственно 0,5 мг/г и 5,5 мг/г за час.

2. Пуццолановая активность комплексной минеральной добавки состоящего из 60% отходов обогащения Балхашского ГОК и 40% микрокремнезёма составляет 48 мг/г. Введение в состав отходов обогащения Балхашского ГОК 40% микрокремнезёма повышает пуццолановую активность комплексной добавки в 2 раза.

3. Выбран оптимальный состав комплексной минеральной добавки: 60% отходы обогащения Балхашского ГОК + 40% микрокремнезем. Установлено, что повышение количества микрокремнезёма более 40% в составе комплексной добавки приведет к увеличению водопотребности смеси.

4. Оптимальная дозировка в состав цемента комплексной минеральной добавки с отходами обогащения Балхашского горно-обогатительного комбината составляет 20%. Дальнейшее увеличение количества микрокремнезёма в составе бетона могут вызывать большие усадочные напряжения. Усадочные трещины в бетоне на контакте с заполнителем и в самом цементном камне могут снизить морозостойкость и послужить очагами коррозии бетона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Berdov, G. I., Nikonenko, N. I., & Mashkin, A. N.** (2014). Increasing the strength of fine cement materials by introducing man-made mineral microfillers. [Povyshenie prochnosti materialov iz tonkodispersnogo cementa vvedeniem tehnogennyh mineralnyh mikronapolnitelei]. Building materials, 5, 52-55. (in Russ.).
2. **Guvalov, A. A., Abbasova, S. I., Kuznecova, T. V.** (2017). The effectiveness of modifiers in regulating the properties of concrete mixtures. [Effectivnost modifikatorov v regulirovanii svoistv betonnyh smesei]. Stroitelnyie materialy, 7, 49-51. (InRuss).
3. **GOST 22266-2013** (2013). Sulfate-resistant cements. Specifications [GOST 22266-2013 Cementy sulfatostoikie. Tehnicheskie usloviya]. (InRuss).
4. **GOST 25094-2015** Active mineral additives for cements. Activity detection method [GOST 25094-2015 Dobavki aktivnye mineralnye dlya cementov. Metod opredeleniya aktivnosti]. (InRuss).
5. **Mencher, E. M., Shafet, A. I.** (1971). Recommendations for the mathematical description of empirical one-factor dependencies. [Recomendacii po matematicheskomu opisaniyu empiricheskikh odnofactorynyh zavisimostei]. Tolyatti, 118. (InRuss).
6. **Nalimov, V. V., & Mulchenko, Z. M.** (1969). Naukometriya, the Study of the Development of Science as an Information [Naukometriya, izuchenie razvitiya nauki kak informacionnogo]. Process. Nauka: Moscow, Russia. <https://doi.org/10.1007/s42452-022-05262-y> (In Russ.).
7. **Pshenichnyi, G. N.** (2019). Building materials and products: activated concrete technology: study guide [Stroitelnye materialy i izdeliya: tehnologiya aktivirovannyh betonov: ucheb. pos.]. Moscow, Yurait. (InRuss).
8. **Singh, N. B., Meenu, K., & Saxena, S. K.** (2017) Nanoscience of Cement and Concrete. Materials Today: Proceedings, 4(4), 5478-5487. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.06.003>
9. **Shpynova, L. G., Chih, V. I.** (1978). The relationship between the microstructures of clinker and cement powder and stone. [Vzaimosvyaz microstructur clincera I cementnogo poroshka I camnya]. Cement, 3, 6-8. (InRuss).
10. **Slavcheva, G. S., Artamonova, O. V., Shvedova, M. A., & Khan, M. A.** (2020). Clinkerless slag-silica binder: hydration process and hardening kinetics (part 2). Magazine of Civil Engineering, 5(97), 9712. <https://doi.org.10.18720/MCE.97.12>
11. **Zhakipbekov, S. K., & Shaltabayeva S. T.** (2009) The effect of modified additives on the

- properties of binders and concrete. [Vliyanie modificirovannyh dobavok na svoistva vyazhishih veshstv I betona]. Bulletin of NIIstromproekt, 5-6(20), 88-91. (InRuss).
12. **Zhilbayeva, A. M.** (2021). Technological ways to increase the activity of mineral additives. [Tehnologicheskie sposoby povysheniya aktivnosti mineralnyh dobavok]. Modern science and young scientists: collection of articles of the 5th International Scientific and Practical conference, Penza, 36-36. (in Russ.).
 13. **Zhilbayeva, A. M., & Yestemessova, A. S.** (2020). Studies of the hardening and structuring of concrete using modified binders. [Issledovaniya processa tverdeniia I structuroobrazovaniya betona s ispolzovaniem modificirovannyh vyazhushih veshstv]. Bulletin of KazLACA, 4(78), 163-167. (In Russ.).
 14. **Zhakupbekov, S. K., Yestemessova, A. S., & Zhilbayeva, A. M.** (2021). Physico-mechanical properties of heavy concrete with a complex mineral additive. The Scientific Journal of the Modern Education & Research Institute 16, 71-76.
 15. **Zhilbayeva, A. M, Yestemessova, A. S., Zhakupbekov, S. K. & Matveeva, L.** (2022). Structural characteristics and performance of concrete with a composite modifying additive. Architectura and Engineering 7(2), 86-95. <https://doi.org/10.23968/2500-0055-2022-7-2-86-95>

UDC 666.7
IRSTI 67.15.39
RESEARCH ARTICLE

CONSTRUCTION AND OPERATIONAL PROPERTIES OF CONCRETE ON MODIFIED BINDER

A.M. Zhilkibaeva^{1*} 

¹International Educational Corporation, 050028, Almaty, Kazakhstan

Abstract. *The most important tasks of science in the field of construction: facilitating reinforced concrete structures, accelerating and reducing the cost of technological processes, in particular, abandoning heat treatment of products, increasing the durability of concrete can only be solved by giving special properties to binders. The way to solve this problem lies through the expansion of the range of complex mineral additives. Natural and man-made substances in a dispersed state, insoluble in water and characterized by grain size less than 0.16 mm, are used as mineral additives for binders and concretes. Despite the different effectiveness, mineral additives have a similar qualitative chemical composition (oxides of silicon, aluminum and others). The differences are in their mineralogical composition, the ratio of components and the degree of dispersion, which determine the predominant mechanism of their action in cement systems. Depending on the properties of the mineral additive, it is possible to obtain multicomponent binders for concretes with special properties: fast-hardening, high-strength, sulfate-resistant and others with significant savings in the cement component. The effectiveness of superplasticizers in dispersed systems can be increased due to a different procedure for their introduction or by combining them with finely ground mineral fillers of various chemical nature. The article presents the possibility of obtaining heavy concretes with specified construction and operational characteristics using a complex mineral additive, which includes waste from the tailings of the Balkhash mining and Processing plant and silica, as well as superplasticizers of various natures: MasterGlenium 305, Master Rheobuild 1000K and Master Air 200.*

Keywords: *heavy concrete, active additive, mineral additive, enrichment waste, complex additive, superplasticizers.*

***Corresponding author**

Aliya Zhilkibaeva, e-mail: aliya8706@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-03>

Received 08 February 2024; Revised 29 March 2024; Accepted 15 April 2024

ӘОЖ 666.7
ҒТАМР 67.15.39
ҒЫЛЫМИ МАҚАЛА

МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ТҰТҚЫР БЕТОНДАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫС-ПАЙДАЛАНУ ҚАСИЕТТЕРІ

А.М. Жилкибаева* 

Халықаралық білім беру корпорациясы, 050028, Алматы, Қазақстан

Аңдатпа. Құрылыс саласындағы ғылымның маңызды міндеттері: темірбетон конструкцияларын жеңілдету, технологиялық процестерді жеделдету және арзандату, атап айтқанда, өнімдерді термиялық өңдеуден бас тарту, бетондардың беріктігін арттыру тек тұтқыр заттарға арнайы қасиеттер беру арқылы шешілуі мүмкін. Бұл мәселені шешудің жолы күрделі минералды қоспалардың номенклатурасын кеңейту арқылы жатыр. Тұтқыр және бетондарға арналған минералды қоспалар ретінде суда ерімейтін және дәндерінің мөлшері 0,16 мм-ден аз болатын дисперсті күйдегі табиғи және техногендік заттар қолданылады. Әр түрлі тиімділікке қарамастан, минералды қоспалар жақын сапалы химиялық құрамға ие (кремний, алюминий, және басқалары оксидтері). Айырмашылықтар олардың минералогиялық құрамына, компоненттердің арақатынасына және цемент жүйелеріндегі олардың әсер ету механизмін анықтайтын дисперсия дәрежесіне байланысты. Минералды қоспаның қасиеттеріне байланысты арнайы қасиеттері бар бетондар үшін көп компонентті тұтқыр заттарды алуға болады: тез қататын, беріктігі жоғары, сульфатқа төзімді және басқалары цемент компонентін едәуір үнемдейді. Жоғары тиімді дисперсті толтырғыштардың құны цемент құнынан бірнеше есе жоғары болуы мүмкін екенін ескере отырып, мәселенің экономикалық аспектісін шешу үшін арзан толтырғыштарды іздеу маңыздырақ болады. Дисперсті жүйелердегі суперпластификаторлардың тиімділігін оларды енгізудің әртүрлі процедуралары немесе оларды әртүрлі химиялық сипаттағы ұсақ ұнтақталған минералды толтырғыштармен біріктіру арқылы арттыруға болады. Мақалада Балқаш тау-кен байыту комбинаты мен микрокремнеземді байыту қалдықтары, сондай-ақ әртүрлі сипаттағы суперпластификаторлар: MasterGlenium 305, Master Rheobuild 1000K және Master Air 200 кіретін кешенді минералды қоспаны пайдалана отырып, берілген құрылыс-пайдалану сипаттамалары бар ауыр бетондарды алу мүмкіндігі келтірілген.

Түйін сөздер: ауыр бетон, белсенді қоспа, минералды қоспа, байыту қалдықтары, кешенді қоспа, суперпластификаторлар.

*Автор-корреспондент

Алия Жилкибаева, e-mail: aliya8706@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-03>

Алынды 08 ақпан 2024; Қайта қаралды 29 наурыз 2024; Қабылданды 15 сәуір 2024.

СТРОИТЕЛЬНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНОВ НА МОДИФИЦИРОВАННОМ ВЯЖУЩЕМ

А.М. Жилкибаева* 

Международная образовательная корпорация, 050028, Алматы, Казахстан

Аннотация. *Важнейшие задачи науки в области строительства: облегчение железобетонных конструкций, ускорение и удешевление технологических процессов, в частности, отказ от термообработки изделий, повышение долговечности бетонов могут быть решены только приданием специальных свойств к вяжущим веществам. Путь к решению этой проблемы лежит через расширение номенклатуры комплексных минеральных добавок. В качестве минеральных добавок для вяжущих и бетонов используются природные и техногенные вещества в дисперсном состоянии, нерастворимые в воде и характеризующиеся крупностью зерен менее 0,16 мм. Несмотря на различную эффективность, минеральные добавки имеют близкий качественный химический состав (оксиды кремния, алюминия и другие). Различия заключаются в их минералогическом составе, соотношении компонентов и степени дисперсности, обуславливающих преобладающий механизм их действия в цементных системах. В зависимости от свойств минеральной добавки возможно получение многокомпонентных вяжущих для бетонов со специальными свойствами: быстротвердеющих, высокопрочных, сульфатостойких и других при значительной экономии цементной составляющей. Эффективность действия суперпластификаторов в дисперсных системах может быть увеличена за счет различной процедуры их введения или сочетанием их с тонкомолотыми минеральными наполнителями различной химической природы. В статье приведена возможность получения тяжелых бетонов с заданными строительно-эксплуатационными характеристиками используя комплексную минеральную добавку, в состав которой входят отходы хвостов обогащения Балхашского горно-обогатительного комбината и микрокремнезем, а также суперпластификаторы различной природы: MasterGlenium 305, Master Rheobuild 1000K и Master Air 200.*

Ключевые слова: *тяжелый бетон, активная добавка, минеральная добавка, отходы обогащения, комплексная добавка, суперпластификаторы.*

*Автор-корреспондент

Алия Жилкибаева, e-mail: aliya8706@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-03>

Поступила 08 февраля 2024 г.; Пересмотрено 29 марта 2024 г.; Принято 15 апреля 2024 г.

ACKNOWLEDGEMENTS/SOURCE OF FUNDING

The study was conducted using private sources of funding.

CONFLICT OF INTEREST

The authors state that there is no conflict of interest.

АЛҒЫС/ҚАРЖЫЛАНДЫРУ КӨЗІ

Зерттеу жеке қаржыландыру көздерін пайдалана отырып жүргізілді.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

БЛАГОДАРНОСТИ/ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование проводилось с использованием частных источников финансирования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

1 ВВЕДЕНИЕ

В качестве минеральных добавок для вяжущих и бетонов используются природные и техногенные вещества в дисперсном состоянии, нерастворимые в воде и характеризующиеся крупностью зерен менее 0,16 мм. Несмотря на различную эффективность, минеральные добавки имеют близкий качественный химический состав (оксиды кремния, алюминия, железа и другие). Различия заключаются в их минералогическом составе, соотношении компонентов и степени дисперсности, обуславливающих преобладающий механизм их действия в цементных системах (**Puharenko et al., 2010**).

Активность комплексных минеральных добавок, то есть способность связывать гидроксида кальция в присутствии воды при обычных температурах, обусловлена содержанием в них веществ, находящихся в химически активной форме (**Dvorkin et al., 2006**). Характер и интенсивность взаимодействия минеральной добавки с известью зависит от количества в ней тех или иных химически активных веществ.

2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В цементной промышленности широко применяют природные пуццолановые добавки – трепел, опоки, диатомит, активные вулканические породы, глины, обожженные при 600-700°C, а также активные золы и другие материалы. Их введение в состав цемента качественно не меняет характер взаимодействия клинкерных минералов с водой, однако скорость гидролиза и гидратации возрастает.

Происходит взаимодействие пуццолановых добавок с выделяющейся при гидратации цемента известью с образованием при обычной температуре соединений группы CSH(I), причем в зависимости от концентрации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в жидкой фазе значение C/S может колебаться в пределах 0,8-1,5 (**Shpynova & Chih, 1978**).

Экономичность производства смешанных вяжущих в значительной мере определяется технологичностью применяемых добавок. С этой точки зрения представляет интерес использование зол ТЭС, шлаков цветной и черной металлургии, фосфорных шлаков, известково-карбонатных отходов, отходов обогащения полиметаллических руд и других техногенных продуктов.

В зависимости от свойств минеральной добавки возможно получение многокомпонентных вяжущих для бетонов со специальными свойствами: быстротвердеющих, высокопрочных, сульфатостойких и других при значительной экономии цементной составляющей.

Эффективность действия суперпластификаторов в дисперсных системах может быть увеличена за счет различной процедуры их введения или сочетанием их с тонкомолотыми минеральными наполнителями различной химической природы (**Zhilkiyeva & Yestemessova, 2020**).

Повышение реологической активности связано с избирательной адсорбцией молекул СП на частицах минерального порошка, что может существенно повысить диспергирующее воздействие их на основную цементную систему.

Этот вопрос недостаточно исследован в цементных композициях, хотя в производственной практике аномальные реологические явления часто проявляются. Исходя из этого, необходимо выявить указанные аномалии и произвести научно обоснованный выбор реологического сочетаемого с СП дисперсного наполнителя.

По мнению авторов (**Irina & Gichko, 2013**), минеральные микронаполнители, вводимые в состав бетона, способствуют упрочнению структуры и продуктов гидратационного твердения портландцемента. Это приводит к изменению поровой структуры бетона и повышению их важнейших свойств: механической прочности и морозостойкости.

Критериями, определяющими активность минеральных наполнителей, являются: высокая химическая стойкость в воде, в агрессивных средах; высокая механическая прочность.

В последние два десятилетия исследования в этом направлении касались оптимальной дисперсности наполнителей, степени наполнения клинкерных цементов, необходимого химико-минералогического состава наполнителей, оптимизации процедуры раздельного помола с последующим смешиванием цемента с наполнителем, использования интенсивных раздельных технологий для получения малодефектной структуры цементного камня из композиционного вяжущего (**Vance et al., 2013; Tironi, 2015; Coumes et al., 2017**).

Учитывая, что стоимость высокоэффективных дисперсных наполнителей может быть в несколько раз выше стоимости цемента, то для решения экономического аспекта проблемы становится более важным поиск более дешевых наполнителей.

Ранее сформулированные научные принципы и практические рекомендации по предельному наполнению цементов и экономии его не могут быть реализованы в технологии высокопрочного бетона, твердеющего в нормальных условиях в силу необходимости решения иных задач, которые заключаются в следующем (**Berdov et al., 2014**):

- обеспечение быстрых темпов набора прочности в начальных сроках твердения и высокой требуемой прочности бетона;
- выбор наполнителей с хорошей сочетаемостью с суперпластификаторами для максимального использования их реологического действия;
- достижение более высокой дисперсности наполнителя, чем у цемента для обеспечения высокой реакционной способности с продуктами гидратации цемента и создания дополнительных центров кристаллизации;
- получение низкой пористости и высокой плотности бетона.

3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведенные нами исследования показали (**Zhilkibayeva & Yestemessova, 2020; Zhilkibayeva, 2021; Zhilkibayeva et al., 2022**), что активация отходов обогащения Балхашского ГОК микрокремнезёмом, увеличивая химический потенциал микрочастиц, существенно повышает химическую активность комплексной добавки, существенным образом определяющий прочностные показатели бетона.

Определение прочностных показателей бетона В35 с суперпластификатором MasterGlenium 305 показал, что при неизменном В/Ц в первые сутки наблюдается некоторое замедление набора прочности при сжатии. Однако, уже к третьим суткам отставание нивелируется, а в 7-суточном возрасте имеет прирост прочности.

Физико-механические свойства тяжёлого бетона класса В25 и В35 на основе модифицированного вяжущего МВ-Д20 с 1,0% суперпластификатора MasterGlenium 305 приведены в **Таблице 1**.

Таблица 1

Физико-механические свойства тяжёлого бетона класса В25 и В35 на основе модифицированного вяжущего МВ-Д20 (материалы автора)

Класс бетона	Плотность бетона, кг/м ³	Пористость, %	Предел прочности при сжатии, МПа в возрасте твердения, сут.						
			После тво	При естественном твердении					
				1	1	3	7	28	90
В 25	2430	4,5	27,9	16	20	25,0	34,5	35,6	36,3
В 35	2440	4,4	34,5	22	27	32,0	49,8	50,1	51,4

*Примечание: ТВО – тепло-влажностная обработка

Одним из важных показателей, определяющих качество вяжущих веществ, является его активность и кинетика нарастания прочности с увеличением срока твердения или в процессе эксплуатации бетонных и железобетонных изделий.

Кинетика нарастания прочности тяжёлого бетона В25 и В35 на основе модифицированного вяжущего МВ-Д20 с 1% СП MasterGlenium 305 приведена на **Рисунке 1**. Из **Рисунка 1** видно, что бетоны класса В25 и В35 в 28 суточном возрасте твердения соответственно набирают чуть выше 5-10% от требуемой прочности.

Разработанные составы бетона класса В25 и В35 на основе модифицированного вяжущего МВ-Д20 в 28-суточном возрасте твердения набирают нормативную требуемую прочность. В начальных сроках твердения (7 сут.) бетоны класса В25 и В35 соответственно набирают 76,4 и 69,8% требуемой нормативной прочности.

На основании полученных результатов исследований механизм процесса гидратаций и твердения тяжёлого бетона В25 и В35 на основе модифицированного вяжущего МВ-Д20 с 1% СП MasterGlenium 305 можно разделить на две стадии:

– стадия интенсивной гидратации от 4,5 часов приготовления бетонной смеси до 7 суток твердения. При этом происходит гидратация клинкерных минералов, пуццолановая активация минеральной добавки и образования стабильных гидратов;

– стадия замедленной гидратации от 7 суток до года. В этом периоде происходит нивелирования деструктивных процессов за счёт пуццолановых реакций (**Таблица 2**).

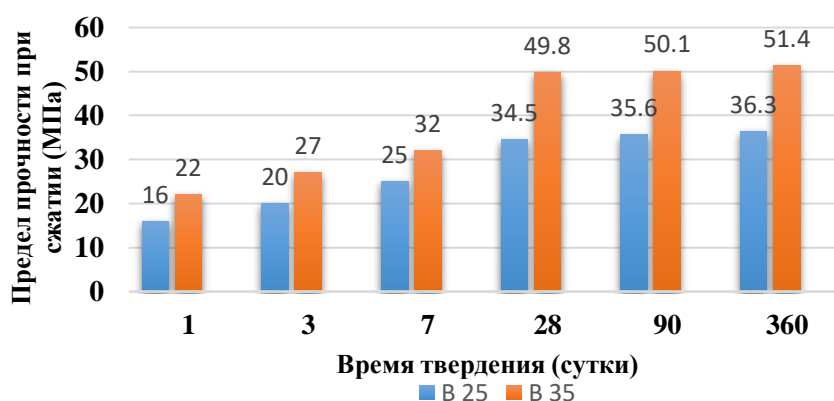


Рисунок 1 – Кинетика нарастания прочности тяжёлого бетона, на основе модифицированного вяжущего МВ-Д20 с 1% СП MasterGlenium 305 (материалы автора).

Таблица 2

Спектры рентгеновской флуоресценции и химический состав цемента с МВ-Д20 в возрасте 28 суток (материалы автора)

Спектр	Концентрация обнаруженных элементов, % по массе										Итого
	С	О	Na	Mg	Al	Si	S	К	Ca	Fe	
С1	-	59.16	1.78	-	2.00	36.86	-	0.20	-	-	100.0
С2	-	51.26	5.02	0.62	10.0	28.62	0.40	1.32	9.90	1.68	100.0
С3	3.49	65.32	-	0.29	5.79	22.66	-	1.46	-	0.53	100.0
С4	4.62	33.79	-	0.48	3.56	7.89	0.26	0.99	0.39	4.24	100.0
С5	0.00	53.51	-	0.89	13.1	22.02	0.25	7.17	-	2.19	100.0
С7	-	20.72	-	-	1.89	66.87	-	3.37	2.54	4.61	100.0
С8	4.13	69.03	-	-	6.30	16.53	-	4.01	-	-	100.0
С9	5.25	20.72	-	-	5.97	24.83	-	1.82	0.36	1.19	100.0
Макс.	5.25	69.03	5.02	0.89	13.1	66.87	0.40	7.17	9.90	4.24	
Мин.	3.44	20.72	1.78	0.29	1.89	7.89	0.25	0.20	0.36	0.53	

Ранее установлено, что при использовании модифицированного вяжущего МВ-Д20 с добавкой 1,0% суперпластификатора MasterGlenium 305, третья стадия процесса гидратации (период интенсивного твердения) наступает через 5 час 30 мин.

Анализ скорости набора прочности показал (**Рисунок 1**), что при неизменном В/Ц в первые сутки наблюдается некоторое замедление набора прочности при сжатии. Однако, уже к третьим суткам отставание нивелируется, а в 7-бетоны класса В25 и В35 соответственно набирают более 70% требуемой нормативной прочности.

Известно, что при использовании портландцемента с минеральной добавкой замедляется рост прочности в первые 7 дней при сохранении проектной прочности. При этом, если для цемента без добавки 7-суточная прочность составляет 0,65-0,75 прочности 28-суточной, для портландцемента с 20% доменного шлака снижается до 0,55-0,65, с 35 % доменного шлака – до 0,5-0,6.

Введение в состав портландцемента в качестве активированных дисперсных наполнителей цеолитсодержащей кремнистой породы и волластонита приводит к повышению его прочностных свойств. При этом, в 28-суточном возрасте твердения предел прочности при сжатии повышается на 21-42% и при изгибе на 11-16%.

Имеется некоторое критическое содержание минеральной добавки, выше которого активность вяжущего вещества начинает снижаться, хотя марка цемента и цена остаются неизменными. Это критическое содержание для каждой минеральной добавки с учетом ее особенностей зависит от химико-минералогического составе цементного клинкера и добавки, тонкости помола и условия твердения (**Panina et al., 2013**).

Эффективность действия веществ, составляющих минеральных микронаполнителей, определяется близостью их удельной энтальпии образования, удельной энтропии к аналогичным характеристикам вяжущих веществ.

Активность минеральной добавки и ее влияние на механическую прочность в составе портландцемента необходимо рассматривать и оценивать по отдельности, т.к. значения этих показателей могут быть противоречивы. Обжиг добавок, имеющих низкую активность по поглощению СаО из известкового раствора, повышает гидравлическую активность цемента. И наоборот, минеральные добавки, обладающие высокой степенью взаимодействия с СаО, после активации могут снижать механическую прочность цементных образцов (**Berdov et al., 2014**).

При введении в состав композиционных цементных материалов минеральных наполнителей наблюдаются четко выраженные максимальные значения прочности, соответствующие оптимальному количеству добавок. При увеличении дисперсности минерального микронаполнителя оптимальное количество его уменьшается.

Основываясь на вышеприведенные выводы и результаты сравнительного анализа гидравлической активности цементов, перспективными минеральными добавками, способными в значительном количестве сократить долю клинкера в составе портландцемента без снижения механической прочности, необходимо определить экспериментально.

Физико-химические исследования показали, что использование комплексной минеральной добавки значительно сокращает количество портландита (**Рисунок 2**).

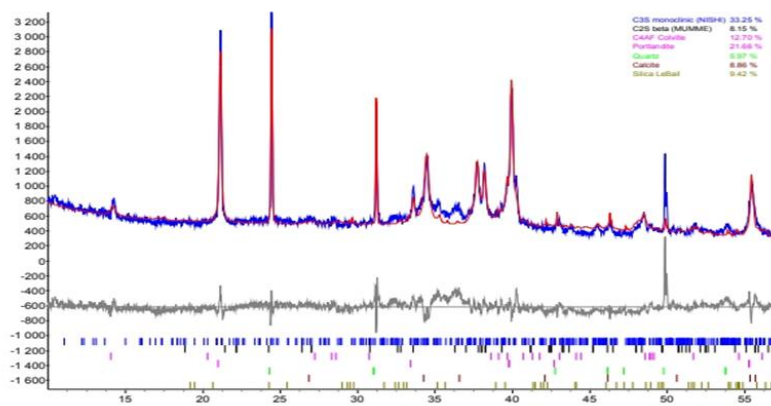


Рисунок 2 – Рентгенографический анализ тяжелого бетона В35 на основе модифицированного вяжущего с 20% комплексной добавкой в 14 суточном возрасте твердения (материалы автора)

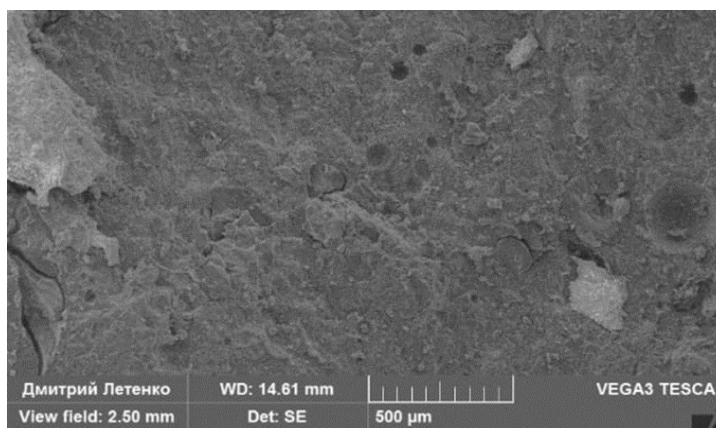


Рисунок 3 – Микроструктура тяжелого бетона В 35 на основе модифицированного вяжущего с 20 % комплексной минеральной добавкой в 28 суточном возрасте твердения, увеличение до 500 мкм. (материалы автора)

На **Рисунках 3, 4, 5** приведены растровые изображения – морфология и текстура продуктов гидратации с различными увеличениями. Масштабный фактор на **Рисунке 3** составляет 500 мкм и на рисунке 4, изображение а, составляет 50 мкм, для изображения б – 20 мкм.

На рисунке 4, при увеличении от 50 мкм до 20 мкм, хорошо видно процессы заполнения усадочных трещин новообразованиями. Можно полагать, что происходит нивелирования деструктивных процессов за счёт пуццолановых реакций.

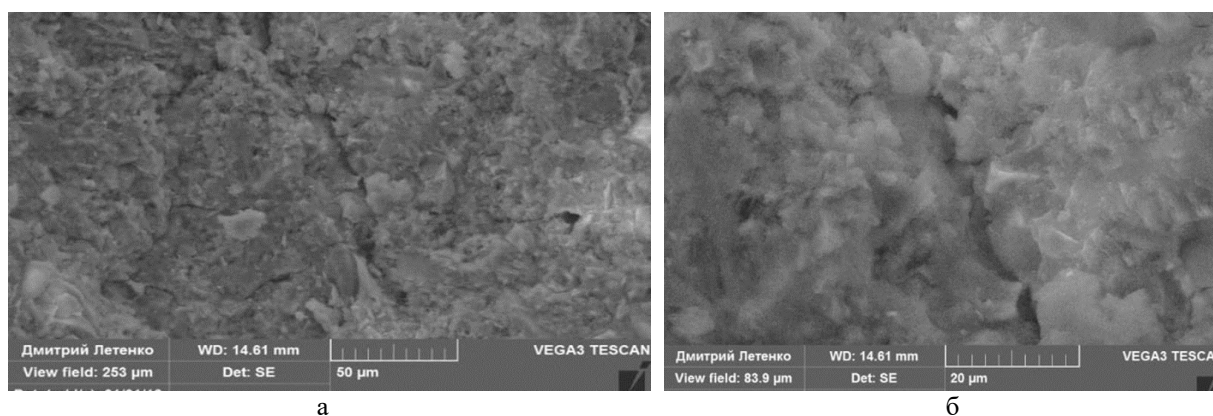


Рисунок 4 – Микроструктура тяжелого бетона В35 на основе модифицированного вяжущего с 20% комплексной добавкой в 14 суточном возрасте твердения: а – усадочная трещина, увеличение до 50 мкм; б – заполнение трещин гидросиликатами, увеличение до 20 мкм (материалы автора).

В процессе твердения, портландит связывается с активным кремнеземом комплексной минеральной добавки. Если портландит находится в аморфной форме пуццолановая реакция проходит быстрее (Zhakipbekov et al., 2021). В микроструктуре тяжелого бетона В35 на основе модифицированного вяжущего с 20% комплексной добавкой в 14 суточном возрасте твердения, при увеличении до 20 мкм наблюдается наиболее типичная форма гидросиликатов кальция, представляющего собой очень тонкие листы толщиной, равной толщине основного слоя (Рисунок 4 б, 5). Эти гидратные листы легко слипаются, образуя рыхлые складчатые агрегаты размером 2-10 мкм.

При увеличении до 50 мкм наблюдается также заполнение макропоры гидратами в форме сотовых микропор (Рисунок 5). Данная структура образовалась в процессе превращения макропор в микропоры и является результатом действия воздухововлекающей добавки MasterAir 200.

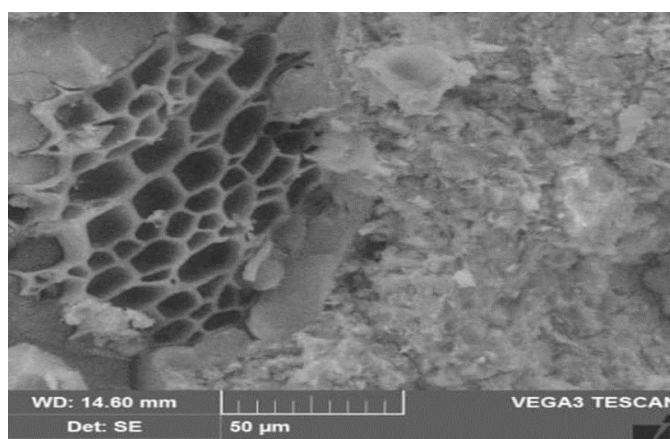


Рисунок 5 – Микроструктура тяжелого бетона В 35 на основе модифицированного вяжущего МВ-Д20 в возрасте 28 суток, увеличение до 50 мкм. (материалы автора).

Таким образом, разработанные составы тяжелых бетонов класса В25 и В35 на основе модифицированного вяжущего МВ-Д20 с 1,0% суперпластификатора MasterGlenium 305 по скорости набора прочности относятся к быстротвердеющим бетонам.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В соответствии с СП 28.13330. 2017 «Защита строительных конструкций от коррозии» бетоны по показателям проницаемости разделены на бетоны нормальной, пониженной и особо низкой проницаемости. В зависимости от степени агрессивности среды проницаемость бетона характеризуют прямыми показателями (маркой бетона по водонепроницаемости, коэффициентом фильтрации, диффузионной проницаемостью газа) и косвенными показателями (водопоглощением бетона и водоцементным отношением), которые должны использовать при подборе состава бетона.

Степень агрессивного воздействия на бетонные и железобетонные конструкции определяется: для жидких сред – наличием и концентрацией агрессивных агентов, температурой, напором или скоростью движения жидкости у поверхности; газовых сред – видом и концентрацией газов, растворимостью их в воде, влажностью и температурой среды; твердых сред (соли, аэрозоли, пыли) – дисперсностью, растворимостью в воде, влажностью окружающей среды.

Степень их агрессивного воздействия на бетон определяется в соответствии с требованиями ГОСТ 31384-2017 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от

коррозии. Общие технические требования» и СП 28.13330. 2017 «Защита строительных конструкций от коррозии».

Для установления возможности использования модифицированного тяжелого бетона В35 с применением комплексной минеральной добавки для строительства объектов с средне- и сильноагрессивной средой исследованы водопоглощение и водонепроницаемость.

Таблица 3

Водопоглощение тяжёлых бетонов классов В25 и В35 (материалы автора)

№ кернa	Масса образца-кернa, г			Масса поглощенной воды, в	
	до сушки	после сушки	после насыщения водой в течение 30 мин	г	%
Тяжелый бетон класса В 25					
1	2560	2430	2490	60	4,44
2	2550	2440	2490	50	3,69
3	2540	2420	2480	60	4,46
Среднее значение					4,20
Тяжелый бетон класса В 35					
1	2520	2410	2450	40	2,99
2	2520	2430	2480	50	3,70
3	2520	2430	2480	50	3,70
Среднее значение					3,46

В **Таблице 3** приведены результаты испытаний на водопоглощение модифицированных тяжёлых бетонов классов В25 и В35 с применением модифицированного вяжущего МВ-Д20 с 1,0% суперпластификатора MasterGlenium 305.

Поскольку образцы-керны имеют длину, отличающуюся от 75 мм, для стандартизации объема образцов вводится поправочный коэффициент согласно требованиям ГОСТ 12730.5-2018. При испытании бетонных образцов-кернов диаметром 100 мм, поправочный коэффициент $K_n=1,8$, принят в соответствии с требованиями ГОСТ 12730.0-2020 (**Таблица 4**).

Таблица 4

Поправочный коэффициент K_n

Диаметр образца-кернa, мм	150	130	120	100	80	50
Поправочный коэффициент K_n	1,0	1,1	1,4	1,8	2,8	5,5

Результаты испытания на водопоглощение (**Таблица 3, Рисунок 6**) показали, что показатель водопоглощения бетона класса В25 с применением модифицированного вяжущего МВ-Д20 с 1,0% суперпластификатора MasterGlenium 305 в пределах – 3,69-4,46%. Среднее значение водопоглощения бетона В25 – 4,20%.

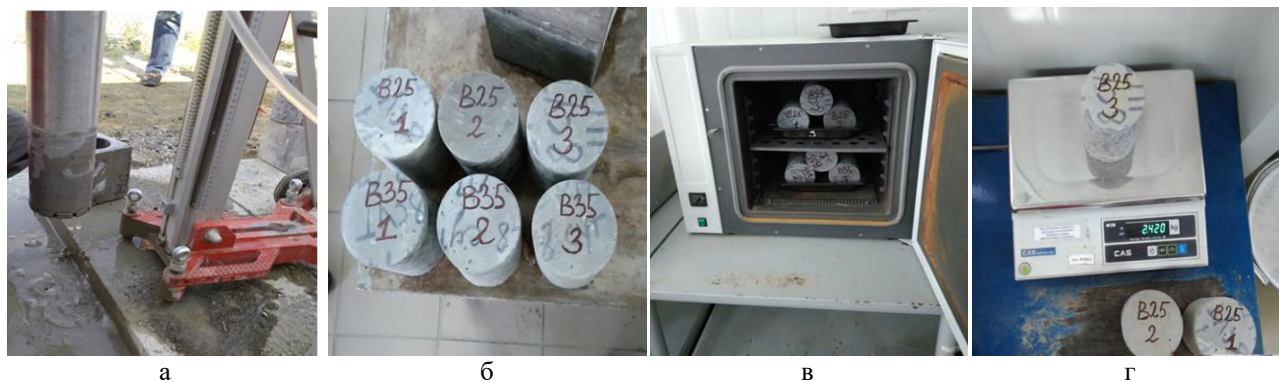


Рисунок 6 – Испытание образцов-кернов для определения водопоглощения

модифицированных бетонов классов В25 и В35: а – алмазная сверильная установка SOLGA SDR 450; б – маркировка образцов-кернов; в – сушка образцов до постоянной массы (низкотемпературная лабораторная электропечь SNOL 58/350); г – взвешивание образцов-кернa после сушки до постоянной массы (весы лабораторные MWP-3000H. Сертификат о поверке №ВГ-000000401 от 02.05.2019 г.) (материалы автора).

Водопоглощение модифицированного тяжёлого бетона В35 с применением модифицированного вяжущего МВ-Д20 с 1,0% суперпластификатора MasterGlenium 305 составляет – 2,99-3,70%. Показатель среднего значения водопоглощения бетона В35 с применением модифицированного вяжущего МВ-Д20 с добавкой 1,0% суперпластификатора MasterGlenium 305 – 3,46%.

Испытание бетона на водопоглощение очень важно и необходимо, ведь от проверки показателя зависит качество бетонных и железобетонных изделий, так как с понижением показателя водопоглощения повышается прочность и долговечность бетона.

Ускоренным методом определения водонепроницаемости бетона В35 с комплексной модифицирующей добавкой по его воздухопроницаемости проводили согласно ГОСТ 12730.5-2018 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости». Для проведения испытаний использовали:

- прибор «Агама-2РМ» для определения воздухопроницаемости бетона (**Рисунок 6**);
- герметизирующую мастику.

При испытании герметизирующую мастику жгутом диаметром не менее 6 мм укладывали на фланец камеры по его средней линии и соединяли концы. Камеру фланцем устанавливали на нижнюю (по условиям формования) поверхность образца и в полости камеры создали разрежение не менее 0,064 МПа.

Таблица 5

Водонепроницаемость модифицированного МВ-Д20 тяжёлых бетонов классов В25 и В35 с применением (материалы автора)

№ зерна	Сопротивление бетона прониканию воздуха по НД, с/см ³	Фактическое значение	Марка по водонепроницаемости, W
Тяжелый бетон класса В25			
1	13,8-19,6	18,4	10
2	13,8-19,6	18,6	10
3	13,8-19,6	19,0	10
Тяжелый бетон класса В35			
4	19,7-29,0	25,2	12
5	19,7-29,0	24,4	12
6	19,7-29,0	26,6	12

Результаты испытания на водонепроницаемость (**Таблица 5**) показали, что фактическое значение сопротивления бетона прониканию воздуха к бетону класса В25 с применением модифицированного вяжущего МВ-Д20 с 1,0% суперпластификатора MasterGlenium 305 в пределах – 18,4-19,0 с/см³. Марка бетона В25 по водонепроницаемости соответствует W10.

Для изготовления железобетонных конструкций согласно нормативным документам предусмотрена нормируемая проницаемость. Проницаемость бетона характеризуется прямыми показателями (маркой бетона по водонепроницаемости или коэффициентом фильтрации). Косвенные показатели (водопоглощение и водоцементное отношение) являются ориентировочными и дополнительными к прямым (**Dvorkin & Dvorkin, 2017**).

По нашему мнению, высокая дисперсность микрокремнезёма в составе комплексной добавки, обеспечивает высокую пуццолановую реакционную способность с продуктами гидратации цемента и создает дополнительные центры кристаллизации, что способствует низкой пористости и высокой плотности тяжёлого бетона.

Результаты испытания показали, что марка бетона В35 с модифицированным вяжущим по водонепроницаемости – W12, при этом фактическое значение сопротивления бетона прониканию воздуха к бетону класса В35 с применением модифицированного вяжущего МВ-Д20 колеблется в пределах – 24,4-26,6 с/см³.

5 ВЫВОДЫ

1. Разработаны составы модифицированных бетонов классов В 25 и В 35 на основе модифицированного вяжущего МВ-Д20, обеспечивающие в 28-суточном возрасте твердения нормативную прочность. В начальных сроках твердения (7 сут) бетоны классов В25 и В35 соответственно набирают более 70% от требуемой нормативной прочности.

Разработанные составы тяжелых бетонов классов В25 и В35 на основе модифицированного вяжущего МВ-Д20 с 1,0% суперпластификатора MasterGlenium 305 по скорости набора прочности относятся к быстротвердеющим бетонам.

2. Процессы гидратации и твердения тяжелых бетонов В25 и В35 на основе модифицированного вяжущего МВ-Д20 с 1% СП MasterGlenium 305 можно разделить на две стадии:

– стадия интенсивной гидратации от 5,5 часов приготовления бетонной смеси до 7 суток твердения. При этом обеспечиваются гидратация клинкерных минералов, пуццолановая активация минеральной добавки и образование стабильных гидратов;

– стадия замедленной гидратации от 7 суток до года. В этом периоде обеспечивается нивелирование деструктивных процессов за счёт пуццолановых реакций. Исследования, проведенные на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA 3SEM при увеличении до 20 мкм, показали процессы заполнения усадочных трещин гидратными новообразованиями.

3. Показатель водопоглощения бетона класса В25 на основе модифицированного вяжущего МВ-Д20 с 1,0% суперпластификатора MasterGlenium 305 в пределах – 3,69-4,46%. Среднее значение водопоглощения бетона В25 – 4,20%.

4. Водопоглощение тяжелого бетона В35 с применением модифицированного вяжущего МВ-Д20 с 1,0% суперпластификатора MasterGlenium 305 составляет – 2,99-3,70%. Показатель среднего значения водопоглощения бетона В35 с применением модифицированного вяжущего МВ-Д20 с добавкой 1,0% суперпластификатора MasterGlenium 305 – 3,46%.

5. Фактическое значение сопротивления бетона прониканию воздуха к бетону класса В25 с применением модифицированного вяжущего МВ-Д20 с 1,0% суперпластификатора MasterGlenium 305 в пределах – 18,4-19,0 с/см³. Марка бетона В25 по водонепроницаемости соответствует W10.

6. Получен бетон класса В35 с комплексной модифицирующей добавкой по водонепроницаемости – W12, при этом фактическое значение сопротивления бетона прониканию воздуха к бетону класса В35 с применением модифицированного вяжущего МВ-Д20 колеблется в пределах – 24,4-26,6 с/см³.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Berdov, G. I., Nikonenko, N. I., & Mashkin A. N.** (2014). Increasing the strength of fine cement materials by introducing man-made mineral microfillers [Povyshenie prochnosti materialov iz tonkodispersnogo cementa vvedeniem tehnogennyh mineralnyh mikronapolnitelei]. Building materials, 5, 52-55. (in Russ.).
2. **Coumes, C. C. D., Dhoury, M., Champenois, J. B., Mercier, C., & Damidot, D.** (2017). Physico-chemical mechanisms involved in the acceleration of the hydration of calcium sulfoaluminate cement by lithium ions. Cement and Concrete Research, 96, 42-51. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.03.004>.
3. **Dvorkin, L. I., Dvorkin, O. L., & Korneichuk, Y. A.** (2006). Low-cement concretes with ash-silica filler [Malocementnye betony s zolomikrokremnezemistym napolnitelem]. Popular Concrete Science 6, 17-27. (in Russ.).

4. **Dvorkin, L. I., & Dvorkin, O. L.** (2017) Testing of concretes and mortars: designing their compositions [Ispytaniya betonov I rastvorov: proektirovanie ih sostavov]. Infra-Inzheneriya: Moscow, Russia. (in Russ.).
5. **Ilna, L. V., & Gichko, N. O.** (2013). Cement materials with mineral microfillers [Cementnye materialy s mineralnymi micronapolnitelyami]. International Journal of Applied and Fundamental Research, 8, 122-124. (in Russ.).
6. **Panina, A. A., Kornilov, A. V., Lygina, T. Z. & Permyakov, E. N.** (2013). Activated dispersed mineral fillers for Portland cement [Aktivirovannye dispersnye mineralnye napolniteli dlya portlandcementsa]. Building materials, 12, 74-75. (in Russ.).
7. **Puharenko, Y. V., Magdeev, U. H., Bazhenov, Y. M. & Morozov, V. I.** (2010). Scientific and practical results of nanostructural modification of cement concretes. Fundamental research of the Russian Academy of Sciences on scientific support of Architecture, urban Planning and the construction industry of the Russian Federation in 2009 [Nauchnye I prakticheskie rezultaty nanostrukturnogo modifitsirovaniya cementnyh betonov. Fundamentalnye issledovaniua RAASN po nauchnomu obespecheniyu arhitektury, gradstroitelstva I stroitelnoi otrasli Rosiskoi Federacii v 2009 godu] Nauch.tr: Moscow, Ivanovo, Russia, 111-116. (in Russ.)
8. **Shpynova L. G., & Chih V. I.** (1978). The relationship between the microstructures of clinker and cement powder and stone [Vzaimosvyaz mikrostruktur clincera I cementnogo poroshka I kamnya]. Cement 3, 6-8. (in Russ.).
9. **Tironi, A.** (2015). Hydration of ternary cements elaborated with limestone filler and calcined kaolinitic clay. Proceed. 14th internat. Congr. on the Chemistry of cement. Beijing, 1-7.
10. **Vance, K., Aguayo, M., Oey, T., Sant, G., & Neithalath, N.** (2013). Hydration and strength development in ternary portland cement blends containing limestone and fly ash or metakaolin. Cement and Concrete Composites, 39, 93-103. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.03.028>
11. **Zhakipbekov, S., Aruova, L., Toleubayeva, S., Ahmetganov, T., & Utkelbaeva, A.** (2021). The features of the hydration and structure formation process of modified low-clinker binders. Magazine of Civil Engineering, 103(3), 10302-10302. <http://dx.doi.org/10.34910/MCE.103.2>.
12. **Zhil kibayeva, A.M., & Yestemessova, A. S.** (2020). Scientific aspects of management of rheological characteristics of concrete mix [Nauchnye aspekty upravleniya reologicheskimi harakteristikami betonnoi smesi]. Bulletin of the Osh State University, 1, 7-11. (in Russ.).
13. **Zhil kibayeva, A.M., & Yestemessova, A. S.** (2020). Studies of the process of hardening and structuring of concrete using modified binders [Issledovaniya processa tverdeniya I structuroobrazovaniya betona s ispolzovaniem modifitsirovannyh vyazhushih veshestv]. Bulletin of the Kazakh head Architectural and Construction Academy, 4(78), 163-167. (in Russ.).
14. **Zhil kibayeva, A. M.** (2021). Technological ways to increase the activity of mineral additives [Tehnologicheskie sposoby povysheniya aktivnosti mineralnyh dobavok]. Modern science and young scientists: collection of articles of the 5th International Scientific and Practical conference, Penza, 36-36. (in Russ.).
15. **Zhil kibayeva A. M, Yestemessova A. S., Zhakipbekov S. K., & Matveeva, L.** (2022). Structural characteristics and performance of concrete with a composite modifying additive. Architectura and Engeneering, 7(2), 86-95. <http://dx.doi.org/10.23968/2500-0055-2022-7-2-86-95>

UDC 674.81
IRSTI 67.07.11
RESEARCH ARTICLE

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ZEOLITES ON THE TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF ADHESIVES

Z.M. Isaeva , A.K. Sambetbayeva* , E.B. Kurmanbekova 

International Educational Corporation, 050028, Almaty, Kazakhstan

Abstract. *The article is devoted to the analysis of the effect of the addition of zeolites on the properties of adhesives used in the woodworking industry. Zeolites with adsorption and catalytic properties were used as modifiers of adhesive systems. This work contributes to the creation of environmentally friendly adhesives for the woodworking industry, reducing the impact on the environment. The aim of the study is to modify adhesive compositions with different concentrations of zeolite and to study their effect on technological parameters. The methods of synthesis of modified adhesives and methods of their testing are described. The results show that the introduction of zeolites into the composition of adhesives accelerates the gelatinization process due to the catalytic action of alkali metal oxides contained in aluminosilicates. This reduces the polycondensation time and allows you to maintain the performance of the CF-LT-15 glue for 8÷9 hours, which corresponds to technological standards. However, an increase in the size and concentration of aluminosilicate particles increases the conditional viscosity of the adhesive from 52 to 95 seconds, which complicates its application to substrates. In this regard, it is recommended to limit the filler content to 8 mass parts. This article summarizes the results of the study and offers recommendations for the industrial use of modified adhesives. The results may be of interest to both the scientific community and the woodworking industry, which is striving to create more efficient and environmentally friendly adhesives.*

Keywords: *modification, carbamide-formaldehyde resin, zeolite, formaldehyde, glue, aluminosilicate*

***Corresponding author**

Aigul Sambetbayeva, e-mail: aigultdo@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-04>

Received 15 January 2024; Revised 23 February 2024; Accepted 05 April 2024.

ӘОЖ 674.81
ҒТАМР 67.07.11
ҒЫЛЫМИ МАҚАЛА

ЦЕОЛИТТЕРДІҢ ЖЕЛІМДЕРДІҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

Ж.М. Исаева , А.К.Самбетбаева* , Э.Б.Кұрманбекова 

Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, 050028, Қазақстан

Аңдатпа. Мақала ағаш өңдеу өнеркәсібінде қолданылатын желім қосылыстарының қасиеттеріне цеолиттерді қосудың әсерін талдауға арналған. Адсорбциялық және каталитикалық қасиеттері бар цеолиттер желім жүйелерінің модификаторлары ретінде қолданылады. Бұл жұмыс қоршаған ортаға әсерді азайтатын Ағаш өңдеу өнеркәсібі үшін экологиялық таза желім қосылыстарын жасауға ықпал етеді. Зерттеудің мақсаты-цеолиттің әртүрлі концентрациясы бар желім қосылыстарын өзгерту және олардың Технологиялық параметрлерге әсерін зерттеу. Модификацияланған желімдерді синтездеу әдістері және оларды сынау әдістері сипатталған. Нәтижелер цеолиттерді желімдердің құрамына енгізу алюмосиликаттардағы сілтілі металл оксидтерінің каталитикалық әсері арқылы желатиндену процесін жеделдететінін көрсетеді. Бұл поликонденсация уақытын азайтады және КФ-МТ-15 желімінің жұмыс қабілеттілігін технологиялық нормаларға сәйкес келетін 8÷9 сағат бойы сақтауға мүмкіндік береді. Алайда, алюмосиликат бөлшектерінің мөлшері мен концентрациясының жоғарылауы желімнің шартты тұтқырлығын 52-ден 95 секундқа дейін арттырады, бұл оны субстратқа қолдануды қиындатады. Осыған байланысты толтырғыштың құрамын 8 салм.бөл. дейін шектеу ұсынылады. Бұл мақалада зерттеу нәтижелері келтірілген және өзгертілген желімдерді өнеркәсіптік пайдалану бойынша ұсыныстар берілген. Нәтижелер ғылыми қауымдастық үшін де, тиімдірек және экологиялық таза желім материалдарын жасауға ұмтылатын Ағаш өңдеу өнеркәсібі үшін де қызықты болуы мүмкін.

Түйін сөздер: модификация, карбамидоформальдегидті шайыр, цеолит, формальдегид, желім, алюмосиликат

*Автор-корреспондент

Айгуль Самбетбаева, e-mail: aigultdo@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-04>

Алынды 15 қаңтар 2024; Қайта қаралды 23 ақпан 2024; Қабылданды 05 сәуір 2024..

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЦЕОЛИТОВ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЛЕЕВ

Ж.М. Исаева , А.К. Самбетбаева* , Э.Б. Құрманбекова 

¹Международная образовательная корпорация, Алматы, 050028, Казахстан

Аннотация. Статья посвящена анализу воздействия добавления цеолитов на свойства клеевых составов, применяемых в деревообрабатывающей промышленности. В качестве модификаторов клеевых систем использованы цеолиты, обладающие адсорбционными и каталитическими свойствами. Эта работа способствует созданию экологически безопасных клеевых составов для деревообрабатывающей отрасли, уменьшающих воздействие на окружающую среду. Целью исследования является модификация клеевых составов с различными концентрациями цеолита и изучение их влияния на технологические параметры. Описаны методики синтеза модифицированных клеев и методы их испытаний. Результаты показывают, что введение цеолитов в состав клеев ускоряет процесс желатинизации за счет каталитического действия оксидов щелочных металлов, содержащихся в алюмосиликатах. Это уменьшает время поликонденсации и позволяет сохранять работоспособность клея КФ-МТ-15 на протяжении 8÷9 часов, что соответствует технологическим нормам. Однако увеличение размера и концентрации частиц алюмосиликата повышает условную вязкость клея с 52 до 95 секунд, что усложняет его нанесение на подложки. В связи с этим рекомендуется ограничить содержание наполнителя до 8 мас.ч. В данной статье подводятся итоги исследования и предлагаются рекомендации для промышленного использования модифицированных клеев. Результаты могут быть интересны как для научного сообщества, так и для деревообрабатывающей промышленности, стремящейся к созданию более эффективных и экологически чистых клеевых материалов.

Ключевые слова: модификация, карбамидоформальдегидная смола, цеолит, формальдегид, клей, алюмосиликат

*Автор-корреспондент

Айгуль Самбетбаева, e-mail: aigultdo@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-04>

Поступило 15 января 2024; Пересмотрено 23 февраля 2024; Принято 05 апреля 2024.

ACKNOWLEDGEMENTS/SOURCE OF FUNDING

The study was conducted using private sources of funding.

CONFLICT OF INTEREST

The authors state that there is no conflict of interest.

АЛҒЫС / ҚАРЖЫЛАНДЫРУ КӨЗІ

Зерттеу жеке қаржыландыру көздерін пайдалана отырып жүргізілді

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

БЛАГОДАРНОСТИ/ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование проводилось с использованием частных источников финансирования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

1 ВВЕДЕНИЕ

В современной деревообрабатывающей промышленности и материаловедении большое внимание уделяется поиску и применению экологичных и эффективных технологий, направленных на улучшение свойств полимерных материалов. Одним из наиболее важных направлений в этом контексте является разработка и модификация клеевых составов, используемых в различных отраслях промышленности. Карбамидоформальдегидные смолы, благодаря своим уникальным свойствам, таким как высокая адгезия, термостойкость и водостойкость, занимают ведущее место среди термореактивных полимеров, используемых в производстве клееных древесных изделий и других композитных материалов. Однако, несмотря на широкое применение, эти смолы имеют существенные недостатки, такие как высокий уровень эмиссии формальдегида, что вызывает серьёзные опасения с точки зрения экологии и здоровья человека.

Исследования последних лет показали, что использование различных добавок может существенно модифицировать и улучшить свойства карбамидоформальдегидных смол ([Chubinsky et al., 2016](#); [Machneva et al., 2023](#)). В частности, цеолиты, обладающие пористой структурой и способностью к ионному обмену, представляют интерес как потенциальные модификаторы для улучшения технологических и экологических характеристик клеев. Несмотря на известные данные о влиянии цеолитов на снижение эмиссии вредных веществ в различных полимерных материалах, исследования в контексте карбамидоформальдегидных клеев остаются недостаточно разработанными. На основании этого обзора становится очевидным наличие пробела в знаниях относительно конкретного влияния цеолитов на технологические свойства клеев на основе карбамидоформальдегидной смолы.

Данное исследование направлено на устранение этого пробела и нацелено на оценку, как добавление цеолитов может влиять на такие критически важные параметры, как прочность связи, время отверждения смолы, и степень эмиссии формальдегида. Целью данного исследования является систематическое изучение влияния различных концентраций цеолитов на основные технологические характеристики карбамидоформальдегидных клеев и определение оптимальных условий их применения для повышения экологической безопасности и технологической эффективности клеевых составов. В рамках исследования будет проведён ряд экспериментов, включая механические испытания и химический анализ, для точной оценки влияния цеолитов на выбранные параметры.

Таким образом, данное исследование не только заполняет существующие пробелы в научных знаниях, но и способствует развитию экологически чистых технологий в производстве клеев, что является важным шагом в направлении устойчивого развития и минимизации вредного воздействия промышленной деятельности на окружающую среду.

2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В индустрии деревообработки активно используются разнообразные клеевые материалы, производимые на основе синтетических клеев. Для соединения шпона и древесных частиц применяют как карбамидоформальдегидные, так и фенолоформальдегидные клеи, а также их комбинации для горячего отверждения. Эти клеи стали объектом множества исследований, направленных на их улучшение ([Mannapov et al., 2022](#); [Pasko & Machneva, 2023](#)). Исследование влияния алюмосиликатов на технологические свойства клеев на основе карбамидоформальдегидной смолы в последние годы значительно расширилось, нацеливаясь на экологическую безопасность и техническую эффективность клеевых составов. В последние годы акцент в исследованиях сместился на поиск экологически безопасных добавок, которые могли бы улучшить свойства смол без ущерба для окружающей среды. Алюмосиликаты, благодаря своим адсорбционным и каталитическим свойствам, представляют большой интерес для исследователей и инженеров.

Исследования ([Shamaev, 2014](#); [Zhou et al., 2019](#); [Pas'ko et al., 2021](#); [Tsvetkov et al., 2022](#))

подчеркивают значительное улучшение термостойкости и снижение эмиссии формальдегида. Ключевой концепцией в этой области является использование алюмосиликатов как "экологических поглотителей" формальдегида. Теоретические основы этого подхода описаны в работах ([Samaržija-Jovanović et al., 2022](#)), где подчеркивается потенциал этих материалов для повышения экологичности клеев. Существует дискуссия по поводу баланса между эффективностью адсорбции и механическими свойствами клея после добавления алюмосиликатов ([Varankina & Chubinsky, 2014](#); [Ponomarenko & Kantieva, 2018](#)).

Некоторые исследования ([Blanchet & Pepin, 2021](#); [Tsvetkov et al., 2022](#)) указывают на возможное ухудшение некоторых механических характеристик при определенных условиях использования. В исследованиях применяются как экспериментальные, так и теоретические методы. Например, в работе ([Orji & McDonald, 2023](#)) используется компьютерное моделирование для прогнозирования влияния алюмосиликатов на свойства клеев. В настоящее время недостаточно данных о долговременном влиянии алюмосиликатов на стабильность клеев при различных условиях эксплуатации. Эти данные критичны для понимания реального потенциала алюмосиликатов в промышленном применении.

Поэтому данное исследование направлено на устранение этих недостатков, с акцентом на долгосрочной стабильности и экологической безопасности. Основываясь на существующей литературе, мы предполагаем, что модификация карбаминоформальдегидных смол алюмосиликатами может значительно улучшить их экологические и технологические характеристики.

3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для приготовления клея на основе карбаминоформальдегидных смол использовались следующие материалы. Цеолит Чанканайского месторождения представляет собой природный композит, представленный вулканическими породами, богатыми микропористыми минералами. Цеолит благодаря своим уникальным адсорбционным свойствам может эффективно поглощать формальдегид, уменьшая его концентрацию в воздухе помещений.

В качестве модификатора был использован измельченный цеолит Чанканайского месторождения Казахстана. Размер частиц алюмосиликата составляет от 0,2 до 0,8 мм. Алюмосиликат предварительно необходимо размолоть и просеять на специальных ситах диаметрами ячеек от 0,2 до 0,8 мм. Из снимков электронно-микроскопического исследования частицы цеолита имеют брусковидную ([Рисунок 1, а](#)) и пластинчатую ([Рисунок 1, б](#)) форму, характерную для клиноптилолита.

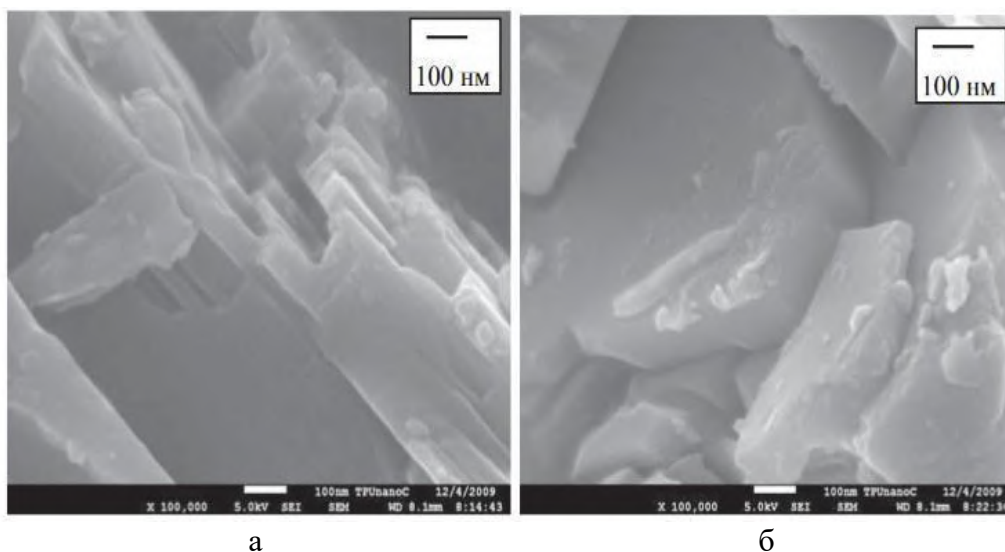


Рисунок 1 – Микрофотографии цеолитов Чанканайского месторождения ([Sakibaeva et al., 2018](#)).

Основные физико-химические характеристики цеолита Чанканайского месторождения приведены в [Таблице 1](#).

Таблица 1

Основные физико-химические характеристики цеолита Чанканайского месторождения ([Vasilyanova & Lazareva, 2016](#)).

Наименование показателя	Ед. изм.	Характеристика
Массовая доля цеолита	%	50-84
Минеральная форма		Клиноптилолит
Твердость по шкале Мооса		4,5
Сопутствующие минералы:	%	
кварц и полевошпатовый шпат		24-30
глинистые минералы		3,0-6,0
доломит		0,5-2,0
Емкость поглощения по иону аммония	мг.экв/г	0,75-1,25
Насыпная плотность	г/см ³	1,17-1,32
Плотность истинная	г/см ³	2,18-2,50
Механическая прочность	кг/см ²	150-220

Физико-химические свойства цеолита Чанканайского месторождения приведены в [Таблице 2](#).

Таблица 2

Физико-химические свойства цеолита Чанканайского месторождения ([Sakibaeva et al., 2018](#)).

Гранулометрический состав

Размер фракции, мм	Содержание, %
1,25	1,3
1,5-2,5	30,6
2,5-10	60,5
10	7,6
Насыпная плотность, г/см ³	0,905
Химический состав	Содержание, %
SiO ₂	60-72
Al ₂ O ₃	14-15
CaO	0,13-6,40
MgO	0 -2,12
K ₂ O	0,66- 4,03
Na ₂ O	0,61-5,45
Fe ₂ O ₃	1,4-5,83
TiO ₂	0,07-0,7
MnO ₂	0,067-0,199
Минеральный состав	Содержание, %
Клиноптилолит	50-84
сопутствующие минералы	24-30

Как видно из таблицы 2 по химическому составу цеолит Чанканайского месторождения относится к высококремнеземистой, характеризуется высоким отношением Si/Al–4,55; общее содержание SiO₂ и Al₂O₃ составляет 74-87% ([Sakibaeva et al., 2018](#)).

Общий вид порошка цеолита, использовавшегося в исследованиях, представлен на [Рисунке 1](#).



Рисунок 2 – Общий вид порошка цеолита (материал авторов)

Карбамидоформальдегидная смола КФ-МТ-15 (ГОСТ 14231) представляет собой растворимый полимерный продукт, который используется в производстве древесностружечных и других древесных плит. Эта смола обладает отличной адгезией и способностью к быстрому отверждению, что обеспечивает прочность и долговечность склеиваемых материалов. Также смола выделяется своей способностью удерживать форму изделий даже в условиях высокой влажности, что делает её идеальным выбором для использования в строительстве и мебельной промышленности. Показатели физико-химических свойств смолы приведены в [Таблице 3](#).

Таблица 3

Показатели физико-химических свойств смолы

Показатель	Значение показателя
Массовая доля сухого остатка, %	68
Время желатинизации при 100 °С, с	68
Условная вязкость (отверстие диаметром 4 мм), с	80
Концентрация ионов водорода при 20 °С	8,1
Показатель преломления при 20 °С	1,471
Предельная смешиваемость смолы с водой, при которой наблюдается коагуляция по объёму	1:4,5

Хлористый аммоний NH_4Cl – это неорганическое соединение, состоящее из аммония и хлора. Он представляет собой бесцветные кристаллы, хорошо растворимые в воде и обладающие сильными гигроскопическими свойствами. Хлористый аммоний NH_4Cl применяется в качестве отвердителя КФ смол для горячего склеивания.

Для определения вязкости применяли вискозиметр типа ВЗ-246 «SIMEX» по ГОСТ 9070. Диаметр сопла $d = 4$ мм ([Рисунок 5](#)). Общий вид вискозиметра представлен на [Рисунке 3](#).



Рисунок 3 – Общий вид вискозиметра В3-246 (материал авторов).

Вискозиметр поместили в штатив и с помощью уровня установили в горизонтальном положении. Под сопло вискозиметра поместили сосуд. Отверстие сопла закрывали пальцем, испытуемый материал наливали в вискозиметр с избытком, чтобы образовался выпуклый мениск над верхним краем вискозиметра. Наполняли вискозиметр медленно, чтобы предотвратить образование пузырьков воздуха. Избыток материала и образовавшиеся пузырьки воздуха удаляли при помощи стеклянной пластинки или алюминиевого диска, сдвигаемых по верхнему краю воронки в горизонтальном направлении таким образом, чтобы не образовалось воздушной прослойки.

Открывали отверстие сопла и одновременно с появлением испытуемого материала из сопла включали секундомер. В момент первого прерывания струи испытуемого материала секундомер останавливали и отсчитывали время истечения.

За результат испытания принимали среднее арифметическое результатов трёх измерений времени истечения в секундах.

Условную вязкость (X) вычисляют по формуле:

$$X = t * K \quad (1)$$

где t - среднее арифметическое значение времени истечения испытуемого материала, с;
 K - поправочный коэффициент вискозиметра.

Поправочный коэффициент K вычисляют по следующей формуле:

$$K = \frac{t_1}{t_2} \quad (2)$$

где t_1 - время истечения контрольной жидкости из контрольного вискозиметра, с; t_2 - время истечения контрольной жидкости из поверяемого вискозиметра, с. В ходе исследования было установлено, что значение поправочного коэффициента вискозиметра (K) составляет 0,98.

Сухой остаток клея определяется по стандартизированному методу, регламентированному ГОСТ 18992.1 "Клеи. Методы определения количества нелетучих веществ". Этот стандарт предусматривает нагревание образца клея до постоянной массы при определенной температуре, чтобы испарить все летучие компоненты, после чего измеряется масса оставшегося сухого остатка. Это позволяет точно определить процентное содержание нелетучих компонентов в клее. Для измерения водородного показателя модифицированного клея используется универсальный иономер ЭВ-74. Процесс начинается с подготовки и разведения образца в дистиллированной воде, затем следует калибровка прибора с помощью буферных растворов с известными значениями рН. После измерения рН необходимо тщательно очистить электрод для обеспечения точности последующих тестов. Продолжительность желатинизации композиционного клея на основе смолы, определяют с

помощью вискозиметрического метода. Этот метод позволяет измерять изменения вязкости клея при заданной температуре и условиях для оценки времени, необходимого для желатинизации смолы. В процессе испытания образец клея нагревают до определенной температуры, при которой он должен желатинизироваться, и замеряют время, за которое вязкость материала достигает определенного уровня, указывающего на начало желатинизации. Этот метод важен для контроля качества в производстве, так как продолжительность желатинизации напрямую влияет на рабочие характеристики клея и время его отвердевания.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

При соединении элементов из древесины, используемые клеи должны обеспечивать прочность, надежность и долговечность склеиваемых соединений. Исследуем влияние добавления цеолитов на характеристики клеев. Добавление алюмосиликата в карбамидоформальдегидные смолы слабо влияет на их цвет, придавая им светло-коричневый оттенок, схожий с цветом древесины.

Вязкость смол и клеев определяет их способность равномерно распределяться по поверхности древесины и других материалов. С увеличением вязкости растет толщина клеевого слоя при нанесении, что приводит к большему расходу клея.

Таблица 4

Вязкость модифицированного клея на основе смолы КФ-МТ-15 в зависимости от соотношения компонентов и размера частиц.

Соотношение компонентов, %		Вязкость клея в зависимости от размера частиц наполнителя					
КФ-МТ-15	Цеолит	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
100	-	36	-	-	-	-	-
98	2,0	36	39	50	60	79	82
96	4,0	37	42	51	63	79	83
94	6,0	48	56	64	72	84	87
92	8,0	52	57	67	75	95	96
90	10,0	70	71	73	81	120	124
88	12,0	72	74	78	103	126	130

На **Рисунке 4** представлена диаграмма, показывающая зависимость вязкости клеевой композиции от количества добавляемого наполнителя и размеров его частиц.

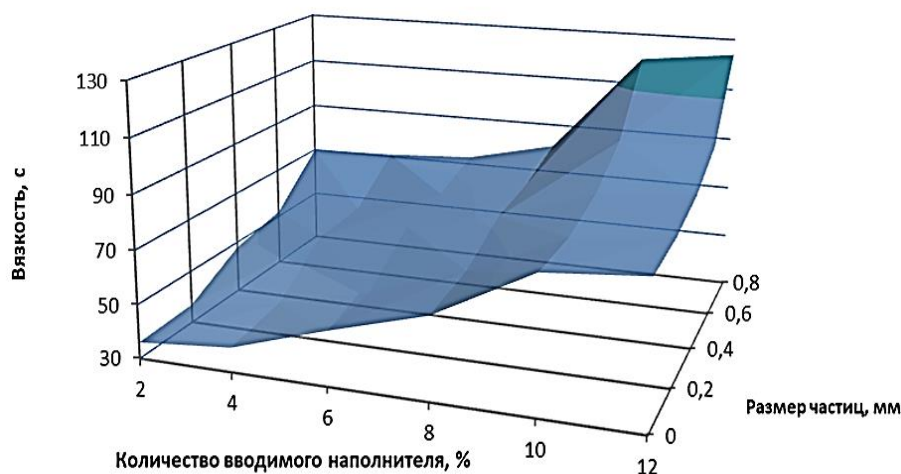


Рисунок 4 – Влияние количества вводимого наполнителя и размера его частиц на вязкость клеевой композиции КФ-МТ-15

В клеевой композиции с добавлением наполнителя от 2,0 до 12 мас. частей и частиц размером 0,2 мм наблюдается незначительное увеличение вязкости. Это объясняется тем, что

наполнитель, представляющий собой мелкодисперсный порошок, частично растворяется в смоле, частично реагирует с ней, а частично остаётся во взвешенном состоянии. Даже при добавлении малого количества наполнителя вязкость изменяется, но остаётся в пределах норм, установленных ГОСТом, за исключением случаев, когда композиция выдерживается 24 часа.

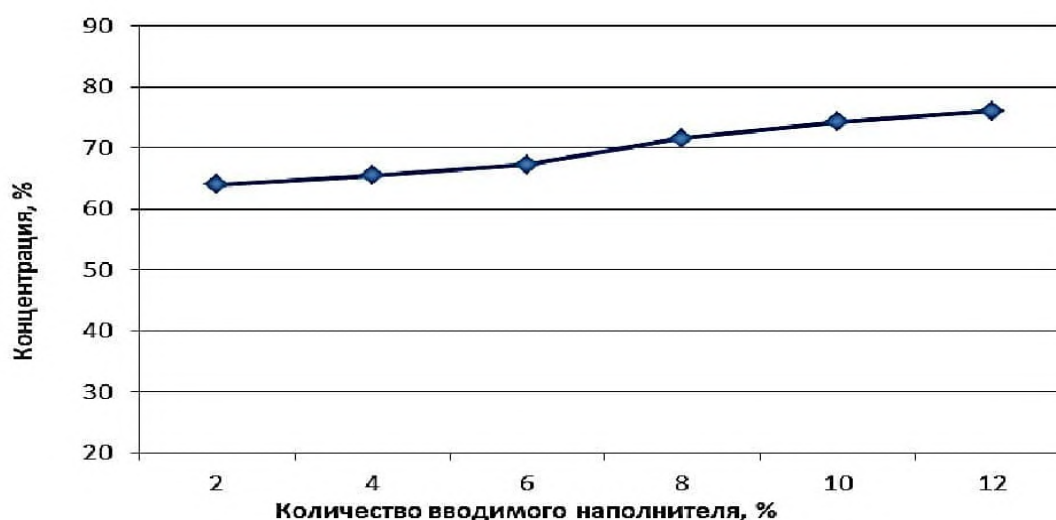
Вязкость прямо пропорциональна концентрации клея, поэтому, определяя количество нелетучих веществ, мы находим сухой остаток клея. При добавлении наполнителя концентрация клея меняется, но также остаётся в пределах норм ГОСТа. Результаты экспериментов, иллюстрирующие зависимость концентрации от добавленного наполнителя, представлены в **Таблице 5**.

Таблица 5

Концентрация модифицированного клея на основе смолы КФ-МТ-15

Наименование	Количество наполнителя, %						
	0	2,0	4,0	6,0	8,0	10	12
Концентрация, %	64	65,5	67,3	71,6	74,3	76,1	79,4

На **Рисунке 5** представлена диаграмма, показывающая зависимость концентрации смолы КФ-МТ-15 от количества добавляемого наполнителя.

**Рисунок 5** – Влияние количества вводимого наполнителя на концентрацию смолы КФ-МТ-15.

Изменение концентрации происходит за счет увеличения массовой доли наполнителя, а также из-за полной реакции поликонденсации и более интенсивной сшивки атомов в процессе отверждения.

В рамках этого исследования водородный показатель модифицированного клея измерялся с использованием универсального иономера ЭВ-74. Полученные значения рН сравнивались с эталонной шкалой, результаты были занесены в **Таблицу 6** для дальнейшего анализа.

Таблица 6

Водородный показатель модифицированного клея на основе смолы КФ-МТ-15

Количество вводимого наполнителя, %	0	2,0	4,0	6,0	8,0	10	12
Водородный показатель среды, рН	8	8	8	7	7	6	6

На **Рисунке 6** представлена диаграмма, показывающая зависимость водородного показателя от количества добавляемого наполнителя.

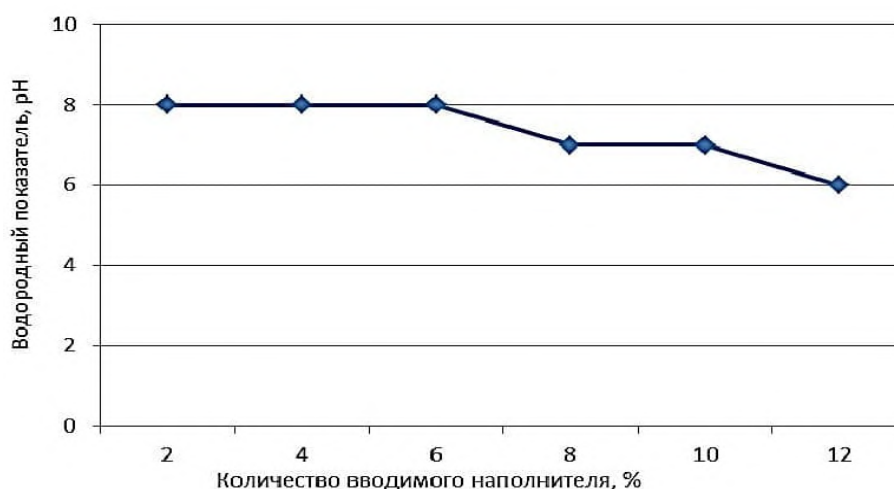


Рисунок 6 – Влияние количества вводимого наполнителя на водородный показатель модифицированного клея

Исследования показали, что с увеличением содержания наполнителя у смолы КФ-МТ-15 водородный показатель pH снижается из-за каталитического действия оксидов щелочных металлов. Важно отметить, что алюмосиликат с pH от 6 до 7 не оказывает разрушающего воздействия на древесину. Также было обнаружено, что добавление от 0,3 до 0,5 процентов хлористого аммония снижает pH клеевой композиции КФ-МТ-15 с 8 до 6. Результаты экспериментов, касающихся измерения времени желатинизации смол, представлены в **Таблице 7**.

Таблица 7

Время желатинизации композитного клея на основе смолы КФ-МТ-15 в зависимости от количества и размера частиц наполнителя

Количество наполнителя, м.ч.	Продолжительность желатинизации модифицированного клея, с			
	0,2	0,4	0,6	0,8
2,0	50	51	52	55
4,0	47	49	49	52
6,0	45	47	48	50
8,0	43	44	45	47
10,0	38	40	41	44
12,0	35	37	38	40

На **Рисунке 7** представлена диаграмма, показывающая зависимость продолжительности желатинизации смолы от количества вводимого наполнителя и размеров его частиц.

Уменьшение времени желатинизации карбамидоформальдегидных смол наиболее выражено при пониженных температурах отверждения, сокращаясь с 51 секунд до 37 секунд. Это имеет значительное значение для производства фанеры, где температура склеивания обычно не превышает 130°C. Сокращение продолжительности желатинизации обусловлено ускорением реакции, возможно поликонденсации, за счёт увеличения активности аминных и гидроксильных групп в поперечных связях кристаллической структуры полимера во время углубления процесса поликонденсации под воздействием интенсивной химической активности.

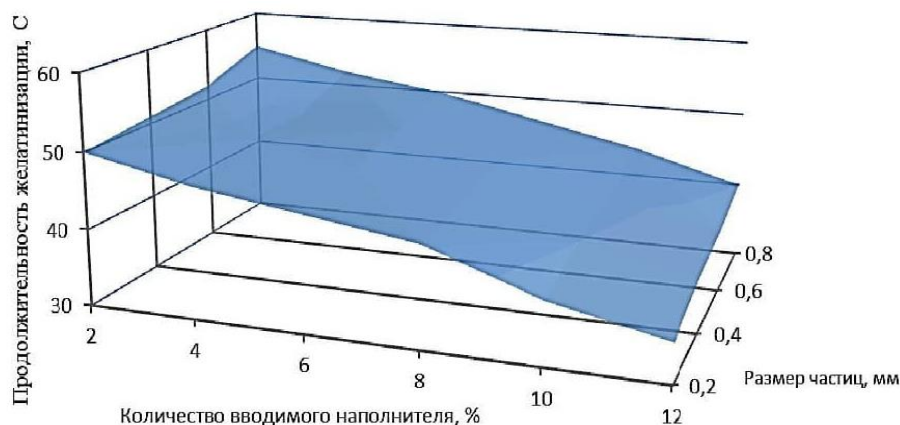


Рисунок 7 – Влияние количества и размера частиц вводимого наполнителя на время желатинизации модифицированного клея на базе смолы КФ-МТ-15.

5 ВЫВОДЫ

На основе проведенных исследований модифицированных клеевых составов были получены следующие результаты: добавление алюмосиликатного наполнителя ускоряет процесс желатинизации за счет каталитического действия оксидов щелочных металлов, содержащихся в алюмосиликатах. Это уменьшает время поликонденсации и позволяет сохранять работоспособность клея КФ-МТ-15 на протяжении 8÷9 часов, что соответствует технологическим нормам. Однако увеличение размера и концентрации частиц алюмосиликата повышает условную вязкость клея с 52 до 95 секунд, что усложняет его нанесение на подложки. В связи с этим рекомендуется ограничить содержание наполнителя до 8 мас.ч. Эти выводы могут послужить основой для дальнейших исследований по оптимизации составов клеев и их применения в деревообрабатывающей промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Blanchet, P., & Pepin, S.** (2021). Trends in chemical wood surface improvements and modifications: A review of the last five years. *Coatings*, 11(12), 1514. <https://doi.org/10.3390/coatings11121514>
2. **Chubinsky, A. N., Varankina, G. S., Rusakov, D. S., & Fedyaev, A. A.** (2016). Plywood gluing technology [Tehnologiya skleivaniya faneri]. St. Petersburg: SPbGLTU, 56 p. (In Russ.).
3. **Machneva, O. P., Pasko, Y. V., Poletaeva, L. P., & Khaidarov, H. J.** (2023). The technology of particle board based on modified phenol-formaldehyde binder [Tehnologiya drevesnostrujechnih plit na osnove modifitsirovannogo fenolformaldegidnogo svyazuyuschego]. *Adhesives. Sealants. Technologies*, (10), 31-35. <https://doi.org/10.31044/1813-7008-2021-0-10-31-35> (In Russ.).
4. **Mannapov, A. R., & Kainov, P. A.** (2022). A review of domestic and foreign research in the field of plywood production technology [Obzor otechestvennih i zarubezhnih issledovaniy v oblasti tehnologii proizvodstva faneri]. *Modern Construction and Architecture*, (2)26, 25-29. <https://doi.org/10.18454/mca.2022.26.4> (In Russ.).
5. **Orji, B. O., & McDonald, A. G.** (2023). Flow, curing and mechanical properties of thermoset resins–wood-fiber blends for potential additive-manufacturing applications. *Wood Material*

- Science & Engineering, 18(4), 1487-1504. <https://doi.org/10.1080/17480272.2022.2155873>
6. **Pasko, Y. V., & Machneva, O. P.** (2023). Properties of fiberboard made using modified carbamide-formaldehyde resin of the brand KFK-SF [Svoistva drevesnovoloknistih плит_izgotovlennih s ispolzovaniem modificirovannoi karbamidoformaldegidnoi smoli marki KFK_SF]. Adhesives. Sealants. Technologies, (2), 2-5. <https://doi.org/10.31044/1813-7008-2023-2-2-5> (In Russ.).
 7. **Pas'ko, Y. V., Machneva, O. P., & Voityuk, V. A.** (2021). Technology of low-toxicity and water-resistant wood chipboard on a modified phenolic binder. Polymer Science. Series D, 14(3), 404-407. <https://doi.org/10.1134/S1995421221030242>.
 8. **Ponomarenko, L. V., & Kantieva, E. V.** (2018). The effect of grinding dust as a filler of urea-formaldehyde adhesives on their technological properties [Vliyanie shlifovalnoi pili kak napolnitelya karbamidoformaldegidnih kleev na ih tehnologicheskie svoistva]. Forestry Journal, (1), 165-175. https://doi.org/10.12737/article_5ab0dfc53f8c83.58064262 (In Russ.).
 9. **Sakibaeva, S. A., Konysbek, J. K., Kim, M. E., Orazymbetova, A. O., & Zhantasova, U. S.** (2018). Investigation of the effect of zeolite fillers on the properties of rubbers [Issledovanie vliyaniya ceolitnih napolnitelei na svoistva rezin]. Scientific Papers of the M.Auezov SKSU, (3) 47, 24-30. URL: <https://auezov.edu.kz> (In Russ.).
 10. **Samaržija-Jovanović, S., Jovanović, V., Jovanović, T., Petković, B., Marković, G., Porobić, S., & Marinović-Cincović, M.** (2022). Thermal behavior of gamma-irradiated urea-formaldehyde composites based on the differently activated montmorillonite K10. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 147(22), 12467-12479. <https://doi.org/10.1007/s10973-022-11450-0>
 11. **Shamaev, V. A.** (2014). Investigation of plywood bonding using nanocrystalline cellulose [Issledovanie skleivaniya faneri s ispolzovaniem nanokristallicheskoj cellyulozi]. Forestry Journal, (1), 151–155. <https://doi.org/10.12737/3360> (In Russ.).
 12. **Tsvetkov, V. E., Machneva, O. P., Kovalenko, M. V., & Yakobashvili, V. D.** (2022). Waterproof plywood based on aminoformaldehyde resin of the AFK-8 brand [Vodostoikaya fanera na osnove amidoformaldegidnoi smoli marki AFK_8]. Adhesives. Sealants. Technologies, (4), 35-38. <https://doi.org/10.31044/1813-7008-2022-0-4-35-38> (In Russ.).
 13. **Tsvetkov, V. E., Nikitin, A. A., Semochkin, Y. A., Tsvetkova, N. N., & Machneva, O. P.** (2022). Properties of composites based on melamine-formaldehyde binding agents. Polymer Science. Series D, 15(1), 49-53. <https://doi.org/10.1134/S199542122201021X>.
 14. **Varankina, G. S., & Chubinsky, A. N.** (2014). Formation of low-toxic glued wood materials [Formirovanie malotoksichnih kleenih drevesnih materialov]. St. Petersburg: Khimizdat, 148 p. (In Russ.).
 15. **Vasilyanova, L. S., & Lazareva, E. A.** (2016). Zeolites in ecology [Ceoliti v ekologii]. News of Science of Kazakhstan, (1)127, 61-85. (In Russ.).
 16. **Zhou, Y., Yang, M., Zheng, Y., Tong, D., Zhou, C., & Yu, W.** (2019). Effect of a novel environmentally friendly additive of polyaspartic acid on the properties of urea formaldehyde resins/montmorillonite. Journal of Applied Polymer Science, 136(41), 48038. <https://doi.org/10.1002/app.48038>

UDC 691.11
IRSTI 66.29.19
RESEARCH ARTICLE

DEVELOPMENT OF A LIQUID GLASS COMPOSITION TO PROTECT WOOD FROM FIRE

B.V. Kim , E.B. Kurmanbekova , A.K. Sambetbayeva* 

International Educational Corporation, 050028, Almaty, Kazakhstan

Abstract. *This article discusses the process of developing a liquid glass composition designed to protect wood from fire. The main attention is paid to the selection of components such as sodium liquid glass as a binding agent, silica as a filler and a foaming agent to improve the properties of the coating. These components are chosen for their ability to form a protective layer, which swells when heated, significantly increasing the flame retardant properties of the material. The research methods included a detailed analysis of the constituent components of the flame retardant composition and experimental testing of its effectiveness. Laboratory tests were carried out, including the preparation of wood samples, their processing with the developed composition and the subsequent study of their behavior under the influence of high temperatures. The results show that the flame retardant coating effectively protects wood and belongs to the first group in terms of flame retardant effectiveness, being the highest indicator among similar materials. It is recommended to use this composition in a single-layer design to reduce the flammability of wooden structures as effectively as possible. The technological efficiency of the new composition is ensured due to the minimum number of components used and the availability of high-quality raw materials.*

Keywords: *flame retardant composition, liquid glass, foaming agent, silica, wood*

***Corresponding author**
Aigul Sambetbayeva, e-mail: aiguldo@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-05>

Received 16 January 2024; Revised 23 February 2024; Accepted 01 April 2024.

ӘОЖ 691.11
ҒТАМР 66.29.19
ҒЫЛЫМИ МАҚАЛА

АҒАШТЫ ӨРТТЕН ҚОРҒАУ ҮШІН СҰЙЫҚ ШЫНЫ КОМПОЗИЦИЯСЫН ЖАСАУ

Б.В. Ким , Э.Б. Күрманбекова , А.К. Самбетбаева* 

Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, 050028, Қазақстан

Андатпа. Бұл мақалада ағашты өрттен қорғауға арналған сұйық шыны құрамын жасау процесі қарастырылады. Байланыстырушы агент ретінде натрий сұйық әйнегі, толтырғыш ретінде микро кремний диоксиді және жабынның қасиеттерін жақсарту үшін көбіктендіргіш сияқты компоненттерді таңдауға баса назар аударылады. Бұл компоненттер қызған кезде ісінетін, материалдың отқа төзімді қасиеттерін едәуір арттыратын қорғаныс қабатын қалыптастыру қабілеті үшін таңдалады. Зерттеу әдістері отқа төзімді құрамның құрамдас бөліктерін егжей-тегжейлі талдауды және оның тиімділігін эксперименттік сынауды қамтыды. Ағаш үлгілерін дайындауды, оларды әзірленген құраммен өңдеуді және жоғары температураның әсерінен олардың мінез-құлқын кейіннен зерттеуді қамтитын зертханалық сынақтар жүргізілді. Нәтижелер отқа төзімді жабынның ағашты тиімді қорғайтынын және отқа төзімді тиімділігі бойынша бірінші топқа жататынын көрсетеді, бұл ұқсас материалдар арасындағы ең жоғары көрсеткіш. Бұл композицияны ағаш конструкциялардың жанғыштығын барынша тиімді азайту үшін бір қабатты дизайнда қолдану ұсынылады. Жаңа композицияның технологиялық тиімділігі қолданылатын компоненттердің минималды санына және жоғары сапалы шикізаттың болуына байланысты қамтамасыз етіледі.

Түйін сөздер: отқа төзімді композиция, сұйық шыны, көбіктендіргіш, микро кремний диоксиді, ағаш

*Автор-корреспондент

Айгуль Самбетбаева, e-mail: aigultdo@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-05>

Алынды 16 қаңтар 2024; Қайта қаралды 23 ақпан 2024; Қабылданды 01 сәуір 2024.

УДК 691.11
МРНТИ 66.29.19
НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

РАЗРАБОТКА ЖИДКОСТЕКЛЬНОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ДРЕВЕСИНЫ ОТ ВОЗГОРАНИЯ

Б.В. Ким , Э.Б. Құрманбекова , А.К. Самбетбаева* 

Международная образовательная корпорация, Алматы, 050028, Казахстан

Аннотация. В данной статье рассматривается процесс разработки жидкостеклянной композиции, предназначенной для защиты древесины от возгорания. Основное внимание уделено выбору компонентов, таких как натриевое жидкое стекло в качестве связующего агента, микрокремнезем в качестве наполнителя и пенообразователь для улучшения свойств покрытия. Эти компоненты выбраны за их способность формировать защитный слой, который при нагревании вспучивается, значительно повышая огнезащитные свойства материала. Методы исследования включали подробный анализ составляющих компонентов огнезащитной композиции и экспериментальное тестирование её эффективности. Были проведены лабораторные испытания, включающие подготовку образцов древесины, их обработку разработанной композицией и последующее изучение их поведения под воздействием высоких температур. Результаты показывают, что огнезащитное покрытие эффективно защищает древесину и относится к первой группе по огнезащитной эффективности, являясь наивысшим показателем среди аналогичных материалов. Рекомендуется применение данного состава в однослойном исполнении для максимально эффективного снижения горючести деревянных конструкций. Технологическая эффективность новой композиции обеспечиваются благодаря минимальному количеству используемых компонентов и доступности сырья высокого качества.

Ключевые слова: огнезащитная композиция, жидкое стекло, пенообразователь, микрокремнезем, древесина

*Автор-корреспондент
Айгуль Самбетбаева, e-mail: aigultdo@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-05>

Поступило 16 января 2024; Пересмотрено 23 февраля 2024; Принято 01 апреля 2024.

ACKNOWLEDGEMENTS/SOURCE OF FUNDING

The study was conducted using private sources of funding.

CONFLICT OF INTEREST

The authors state that there is no conflict of interest.

АЛҒЫС / ҚАРЖЫЛАНДЫРУ КӨЗІ

Зерттеу жеке қаржыландыру көздерін пайдалана отырып жүргізілді

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

БЛАГОДАРНОСТИ/ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование проводилось с использованием частных источников финансирования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

1 ВВЕДЕНИЕ

В последние годы внимание к защите древесины от возгорания значительно возросло, учитывая увеличение использования деревянных конструкций в строительстве и мебельной промышленности. Исследования показывают, что жидкое стекло, модифицированное определенными добавками, может формировать на поверхности древесины термостойкий защитный слой, эффективно препятствующий распространению пламени (Abdrakhimov, 2020). Однако существующие данные еще недостаточно полны в части определения оптимальных составов и методов их применения, а также в аспекте взаимодействия компонентов с различными типами древесины.

Жидкостекольные покрытия обладают рядом преимуществ, включая низкую стоимость и возможность нанесения на различные поверхности, что делает их привлекательными для широкого использования. Огнестойкость материалов становится критическим фактором в обеспечении безопасности зданий и сооружений. Одним из перспективных направлений в этой области является разработка жидкостекольных композиций, которые могут значительно улучшить огнезащитные свойства древесины. Несмотря на разнообразие существующих решений, многие из них либо не обеспечивают достаточной эффективности, либо имеют значительные экологические недостатки.

Современные исследования показывают, что жидкое стекло, модифицированное определенными добавками, может формировать на поверхности древесины термостойкий защитный слой, эффективно препятствующий распространению пламени. Однако существующие данные еще недостаточно полны в части определения оптимальных составов и методов их применения, а также в аспекте взаимодействия компонентов с различными типами древесины.

Цель данного исследования заключается в разработке жидкостекольной композиции с добавлением специфических силикатных и неорганических компонентов для повышения огнестойкости древесины. Мы предполагаем, что оптимизация состава жидкого стекла с добавлением микрокремнезема, боратов и других огнеупорных добавок позволит создать высокоэффективное огнезащитное покрытие. В рамках работы будет проведен анализ эффективности новой композиции в лабораторных условиях и пригодности к промышленному применению.

Исследование вносит вклад в научную область защиты древесины от возгорания, предлагая экологически безопасное и экономически выгодное решение, способное повысить безопасность деревянных конструкций. Результаты данной работы могут быть полезны как для научного сообщества, так и для промышленности, изменяя практику применения огнезащитных покрытий и способствуя развитию новых стандартов в области строительства и производства строительных материалов.

2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В этом разделе представлен обзор существующих исследований, касающихся разработки огнезащитных композиций на основе жидкого стекла (Leonovich & Sheloumov, 2002; Dudnichenko, 2019; Efimov, 2019). Эта область исследований имеет длительную историю, начиная с первых применений жидкого стекла в качестве связующего компонента и развиваясь до современных технологий производства огнезащитных покрытий. Клеящая способность жидкого стекла в 3-5 раз выше, чем у цементов (Toturbiev, 1988).

Исходя из доступной литературы (Gazizov et al., 2020; Khafizov et al., 2018) жидкое стекло (ЖС) долгое время используется в огнеупорной промышленности благодаря своим выдающимся адгезивным свойствам и термостойкости. ЖС представляет собой водные щелочные растворы силикатов, которые в зависимости от состава могут выдерживать высокие температуры и образовывать пенообразное покрытие при нагревании, тем самым увеличивая огнезащитные характеристики материала (Stenina, 2019; Abdrakhimov, 2020).

Существуют различные точки зрения на применение жидкого стекла, особенно касающиеся его экологической безопасности и экономической выгоды. Использование

жидкого стекла требует добавления различных наполнителей и модификаторов, что может влиять на окружающую среду и стоимость конечного продукта (Solovyova, 2013; Leonovich, 2019; Sharafutdinov et al., 2020). В предыдущих исследованиях были использованы различные подходы для улучшения свойств огнезащитных покрытий на основе ЖС, включая добавление низкоплотностных наполнителей и антипиренов, а также регулирование вязкости смеси для оптимизации свойств покрытия.

Несмотря на множество исследований, существует недостаточное понимание долговременной стабильности и жизнеспособности огнезащитных покрытий на основе ЖС. Также мало внимания уделяется экологическим и экономическим аспектам при выборе компонентов (Ustinov & Pitukhin, 2018; Gazizov et al., 2024). Эти пробелы критически важны, поскольку они могут значительно влиять на практическое применение и распространение огнезащитных технологий на основе ЖС.

Работа (Goldstein, 2001) представляет собой одно из первых систематических изучений влияния жидких силикатов на поведение древесины при воздействии огня. Результаты исследования демонстрируют увеличение времени устойчивости древесины к огню до 30%. Авторы обсуждают различные стратегии модификации жидкого стекла для улучшения его защитных свойств, включая добавление микрокремнезема и других наноматериалов (Ivanov & Petrova, 2015).

В статье (Kheradmandi & Modarres, 2018) представлены результаты сравнительного анализа различных огнезащитных обработок древесины, подчеркивая преимущества силикатных составов перед традиционными методами на основе фосфатов. Исследование фокусируется на экологических аспектах использования жидкостекольных композиций, обсуждая их биоразлагаемость и воздействие на окружающую среду (Kumar, 2020).

Исследование направлено на устранение упомянутых пробелов путем разработки новых рецептур огнезащитных составов, которые будут не только эффективными и долговечными, но и экономически выгодными и экологически безопасными. Это исследование позволит лучше понять взаимодействие различных компонентов в жидкостекольных покрытиях и определить оптимальные условия их использования для защиты древесины и других материалов от огня.

3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения исследований использовали образцы из прямослойной воздушно-сухой древесины сосны с влажностью 8–15 % и плотностью от 400 до 550 г/м³ в виде прямоугольных брусков с поперечным сечением 30 × 60 мм и длиной вдоль волокон 150 мм, согласно СТ РК 615-1-2011 (Рисунок 1). Образцы перед испытаниями высушивались до постоянной массы при температуре 40- 45°C.



Рисунок 1 – Образцы древесины (материалы авторов).

Для получения огнезащитного покрытия в качестве связующего использовали натриевое жидкое стекло (**ГОСТ 13078-2021**).

Основные характеристики жидкого стекла представлены в **Таблице 1**.

Таблица 1

Основные характеристики жидкого стекла (**ГОСТ 13078-2021**)

Плотность, кг/м ³	Вязкостьна ВЗ-4, с	Массовая доля оксидов, %					Силикатный модуль, М _с	Твердый остаток, %
		SiO ₂	R ₂ O ₃	CaO	SO ₃	Na ₂ O		
1,36	25-30	74,18	0,25	0,05	0,06	25,46	2,93	50

В качестве модификатора предлагается использовать микрокремнезем, который образуется в процессе выплавки сплавов кремния (ферросилиция). Некоторая часть монооксида кремния, после окисления и конденсации, образует мелкий продукт в виде ультрадисперсного порошка, частицы которого являются частички аморфного кремнезема со средней площадью удельной поверхностью более 20000 см²/г. Частицы микрокремнезема имеют гладкую поверхность и сферическую форму. Средний размер частиц составляет 0,1-0,2 микрон. Фактически микрокремнезем состоит из рыхлых агломератов кремнезема с очень низкой насыпной плотностью. В исследованиях был использован микрокремнезем ТОО «Тау-Кен Темир» г. Караганда (**Рисунок 2**).



Рисунок 2 – Микрокремнезем, (100-200 нм) (материалы авторов).

В целях улучшения взаимодействия древесины с нанесенным покрытием используется пенообразователь «ПО-6ТС» в количестве 1%. Пенообразователь «ПО-6ТС» – биоразлагаемый пенообразователь целевого назначения с повышенной огнетушащей способностью. Пенообразователь «ПО-6ТС» представляет собой состав водного раствора поверхностно-активных веществ, углеводов и стабилизаторов. Эти компоненты способствуют быстрому формированию пены, которая эффективно изолирует горючую поверхность от кислорода воздуха, тем самым предотвращая распространение огня.

Для определения огнезащитной эффективности применяли следующие средства измерения, испытательное оборудование и материалы:

- установка «Керамическая труба»; весы (класс точности III) (**Рисунок 3**);
- секундомер (класс точности 2);
- газ бытовой; фольга алюминиевая толщиной от 0,014 до 0,018 мм марки ФГ; -
- вытяжной шкаф с принудительной вентиляцией;
- емкость для пропитки образцов древесины; установка (устройство) для нанесения ОС методом распыления;

- кисти, шпатели; эксикатор;
- цинк азотнокислый 6-водный ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$).

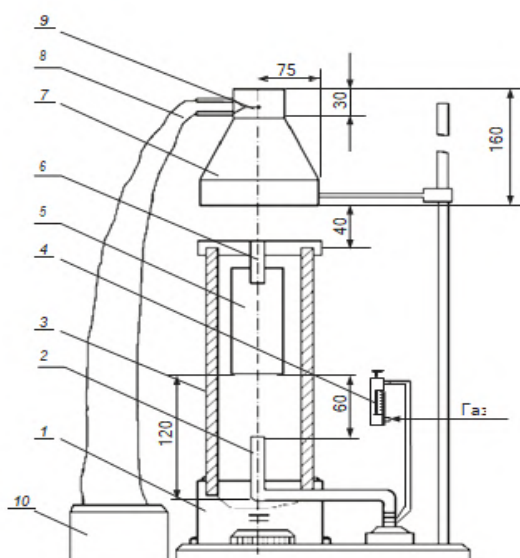


Рисунок 3 - Установка «Керамическая труба»: 1 - подставка; 2 - газовая горелка; 3 - керамический короб; 4 - ротаметр; 5 - образец; 6 - держатель образца; 7- зонт; 8 - термоэлектрический преобразователь; 9 - верхний патрубок зонта; 10 - автоматический потенциометр (СТ РК 615-1-2011)

Образцы древесины перед нанесением огнезащитного состава (ОС) кондиционировали в эксикаторе с насыщенным раствором цинка азотнокислого 6-водного при температуре 23 ± 5 °С. Кондиционирование прекращали, когда изменение массы образцов между двумя последующими взвешиваниями, проведенными через 24 часа, составляла не более 0,2 г. На кондиционированные образцы древесины со всех сторон наносили слой испытываемого ОС и высушивали.

Расход состава после каждой обработки определяли весовым методом по разнице масс образца до и после нанесения ОС. Взвешивание обработанных пропиточными составами образцов осуществляется после прекращения стекания с поверхности невпитавшегося раствора. С торца образца остатки раствора удаляли фильтровальной бумагой. Общее поглощение R , кг/м³, определяли по формуле:

$$R = \frac{m_1 - m_2}{V} * 100\% \quad (1)$$

где m_1 - масса образца после пропитки, кг;
 m_2 - масса образца перед пропиткой, кг;
 V - объем образца, м³.

Испытания проводили на 10 образцах в вытяжном шкафу с принудительной вентиляцией, скорость движения воздуха не более 5 м/с.

Внутренние стенки керамического короба выкладывали алюминиевой фольгой блестящей стороной внутрь, для чего из фольги вырезали полосы шириной, равной внутренней ширине стенки короба (рис.4). Полосы поочередно в три слоя закладывали внутрь керамического короба, разглаживали по внутренним стенкам и загибали по торцам на наружную поверхность керамического короба. Фольгу меняли после сжигания каждых трех образцов.

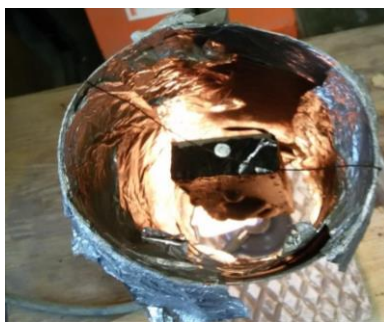


Рисунок 4 – Огневые испытания исследуемых материалов (материалы авторов)

Для эксперимента керамический короб сначала ставили горизонтально и поджигали под ним газовую горелку, настраивая пламя высотой от 15 до 25 см. Затем короб возвращали в вертикальное положение и размещали над ним зонт в рабочем положении. Регулировали поток газа таким образом, чтобы температура, измеряемая термоэлектрическим преобразователем, в течение 5 минут была равна (200 ± 5) °С, после чего фиксировали значение величины расхода газа в л/ч по показаниям ротаметра. Зонт отводили, испытываемый образец, закрепленный в держателе, опускали в керамический короб, одновременно включали секундомер и возвращали зонт в рабочее положение.

Образцы древесины держали в пламени горелки в течение 2 минут. Расход газа в процессе испытания был постоянным. Через 2 минуты подачу газа в горелку прекращали, образец оставляли в приборе для остывания. После остывания (температура отходящих газов в верхнем патрубке зонты равна комнатной) оставшуюся часть образца извлекали из керамического короба и взвешивали.

Потерю массы испытанного образца P , %, вычисляли по формуле:

$$P = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100\% \quad (2)$$

где m_1 – масса образца до испытания, г;

m_2 – масса образца после испытания, г

Согласно **СТ РК 615-1-2011**: при потере массы не более 9 % для ОС устанавливают I группу огнезащитной эффективности. При потере массы более 9 %, но не более 25% для ОС устанавливают II группу огнезащитной эффективности. При потере массы более 25 % считают, что данный состав не обеспечивает огнезащиту древесины и не является огнезащитным.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Для выявления эффективности работы огнестойких наполнителей в составе с жидким стеклом проведены экспериментальные исследования. В **Таблице 2** представлены разработанные составы жидкостекольных композиций для защиты древесины от возгорания.

Таблица 2

Составы жидкостекольных композиций для защиты древесины от возгорания.

Состав	Состав сырьевой смеси, масс., %	
	1	2
Натриевое жидкое стекло	89	87
ПАВ «ПО-6ТС»	1,0	1,0
Микрокремнезем	10	12

На основе эксперимента были определены значения потери массы древесных образцов, обработанных огнезащитными составами в один и два слоя, результаты которых представлены в **Таблице 3**.

Таблица 3

Показатели потери массы образцов древесины

Номер образца	Потеря массы образца, %			
	Состав 1		Состав 2	
	1 слой	2 слоя	1 слой	2 слоя
001	1,51	1,71	2,37	1,28
002	1,64	1,56	5,38	1,18
003	1,65	1,67	2,81	1,09
004	1,53	1,54	4,11	1,18
005	1,62	1,67	4,33	1,16
006	1,48	1,47	2,67	1,18
007	1,72	1,69	2,84	1,16
008	1,63	1,60	3,17	1,28
009	1,64	1,57	5,23	1,22
010	1,49	1,51	4,27	1,20
Р _{ср} , %	1,591	1,599	3,718	1,193

Из анализа данных о потере массы образцов с различными составами огнезащитных покрытий видно, что нанесение двух слоев улучшает защитные свойства обоих составов, подтверждая повышение их эффективности при увеличении числа слоев. Состав 1 демонстрирует меньшую потерю массы как при однослойном, так и при двухслойном нанесении по сравнению с составом 2, что свидетельствует о его высокой эффективности в защите материала.

В отличие от этого, состав 2 при однослойном нанесении показывает значительно большую потерю массы, что может быть связано с более высоким содержанием микрокремнезема. Предполагается, что это увеличивает пористость материала, что, в свою очередь, приводит к большей потере массы при нагреве. Однако при двухслойном нанесении потеря массы значительно снижается, подчеркивая важность правильного выбора толщины покрытия. На основании представленных данных состав 1 является более предпочтительным выбором для использования в качестве огнезащитного покрытия, так как он обеспечивает более низкую потерю массы и более стабильную защиту независимо от количества нанесенных слоев. Это делает его более эффективным и надежным вариантом для обеспечения огнезащиты древесины.

5 ВЫВОДЫ

В данном исследовании была разработана инновационная огнезащитная композиция на основе жидкого стекла, предназначенная для защиты древесины. Целью исследования было создание покрытия, которое эффективно защищает древесину от возгорания, обеспечивая при этом высокие эксплуатационные характеристики и минимальное воздействие на окружающую среду. В качестве основы был выбран жидкостекольный раствор, который модифицировался добавками для улучшения термостойкости и адгезии.

В данном исследовании была разработана инновационная огнезащитная композиция на основе жидкого стекла, предназначенная для защиты древесины. Результаты экспериментальных исследований, проведенные согласно стандартизированным методикам, показали, что разработанная композиция формирует высококачественное покрытие, которое эффективно вспучивается при воздействии высоких температур и демонстрирует превосходную адгезию к различным древесным поверхностям. Она отнесена к первой группе

по огнезащитной эффективности, что является наивысшим показателем среди подобных материалов. Рекомендуется применение данного состава в однослойном исполнении для максимально эффективного снижения горючести деревянных конструкций. Технологическая эффективность новой композиции обеспечиваются благодаря минимальному количеству используемых компонентов и доступности сырья высокого качества.

Планируется продолжение исследований для дальнейшего улучшения огнезащитных свойств жидкостекольных композиций, применяемых в строительстве. В заключение можно отметить, что результаты исследования явно демонстрируют значительные перспективы использования разработанной композиции в улучшении огнезащиты деревянных конструкций, что открывает пути для дальнейших разработок в этом направлении. Высокая эффективность, простота применения и доступность делают эту инновационную композицию перспективным решением для широкого спектра строительных и промышленных задач. Продолжение исследований в этом направлении откроет новые пути для развития технологий защиты древесины и повышения безопасности зданий и сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Abdrakhimov, V. Z.** (2020). Application of anthracite flotation enrichment waste in production of porous aggregate based on liquid-glass [Primenenie othodov flotacionnogo obogascheniya antracita v proizvodstve poristogo zapolnitelya na osnove jidkogo stekla]. *Compositions/ Construction and Geotechnics*, 11(1), 92-101. (In Russ.).
2. **Kheradmandi, N., & Modarres, A.** (2018). Precision of back-calculation analysis and independent parameters-based models in estimating the pavement layers modulus-Field and experimental study. *Construction and Building Materials*, 171, 598-610. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.211>
3. **Dudnichenko, I. I.** (2019). The application of kremnezema filler to improve the fire resistance of wood [Primenenie napolnitelya kremnezema dlya povisheniya ognestoikosti drevesini]. *Woodworking: Technologies, Equipment, Management of the XXI Century: Proceedings of the XIV International Eurasian Symposium, September 17-20, 2019, Yekaterinburg*, 107-109. Retrieved from: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/8751> (In Russ.).
4. **Efimov, V. N.** (2019). Impregnations as protection of wood from fire [Propitki kak zaschita drevesini ot ognya]. *Scientific Creativity of Youth – to the Forest Complex of Russia: Materials of the XV All-Russian Scientific and Technical Conference. Ural Forest Technopark, Yekaterinburg*, 80-83. Retrieved from: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/8221> (In Russ.).
5. **Gazizov, A. M., Kuznetsova, O. V., Sharafutdinov, A. A., & Shaimuhametova, K. M.** (2020). Improvement of fire retardant properties of wood materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 919, 062014. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/919/6/062014>
6. **Gazizov, A. M., Gorokhovskiy, A. G., Shishkina, E. E., & Myalitsin, A. V.** (2024). Protection of wood from fire with the use of special compositions [Zaschita drevesini ot ognya s ispolzovaniem specialnih sostavov]. *Forests of Russia and Agriculture in Them*, (1)88, 159-164. <https://doi.org/10.51318/FRET.2023.88.1.016>. (In Russ.).
7. **Goldstein, A.** (2001). Fire retardant properties of silicate compounds. *Fire Safety Journal*, 36, 123-132. [https://doi.org/10.1016/S0379-7112\(01\)00011-3](https://doi.org/10.1016/S0379-7112(01)00011-3).
8. **Ivanov, S., & Petrova, T.** (2015). Modern approaches to wood fire protection with silicate-based compounds. *Advances in Materials Science*, 47-56. <https://doi.org/10.17277/amt.2015.02.pp.024-030>.
9. **Khafizov, F. S., Gazizov, A. M., Khafizov, I. F., & Sharafutdinov, A. M.** (2018). Evaluation

- of the mobile simulator for fire protection training. Materials of the Annual Scientific International Conference «Computer Systems, Applications and Software Engineering, CSASE 2018», Nizhniy Tagil, Russia, 2131. Retrieved from <http://ceur-ws.org/Vol-2131/paper6.pdf>.
10. **Kumar, R.** (2020). Eco-friendly fire retardant applications of silicate composites. *Environmental Science & Technology*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b07619>.
 11. **Leonovich, A. A., & Sheloumov, A. V.** (2002). Reducing the fire hazard of wood materials, products and building structures [Snijenie požarnoi opasnosti drevesnih materialov_ izdelii i stroitelnih konstrukcii.]. St. Petersburg: Publishing House of SPbGPU. (In Russ.).
 12. **Leonovich, A. A.** (2019). Special purpose wood-based materials: [Drevesnie materiali specialnogo naznacheniya] A textbook. St. Petersburg: Publishing house "Lan". (In Russ.).
 13. **Review of flame retardants of building structures.** [Obzor ognezaschitnih sredstv stroitelnih konstrukcii] (2013). Retrieved from <http://www.tehnology-pro.ru/obzor-ognezashitnix-sredstv-stroitelnix-konstrukciie.html> (In Russ.).
 14. **Sharafutdinov, A. A., Khafizov, F. S., Khafizov, I. F., Krasnov, A. V., Akhmetfazizov, A. V., Zakirova, V. I., & Khafizova, A. N.** (2020). Development of a method for calculating fire and oil spills parameters. 28th Russian Conference on Mathematical Modelling in Natural Sciences, RuMoNaS 2019: Materials of AIP Conference Proceedings, 2216, 070004. <https://doi.org/10.1063/5.0003843>
 15. **Solovyova, M. E.** (2013). The influence of a fire-resistant coating on increasing the fire resistance limit of wooden building structures [Vliyanie ognezaschitnogo pokriyatiya na povishenie predela ognestoikosti derevyannih stroitelnih konstrukcii]. *Electronic Scientific Journal "Oil and Gas Business"*, (1). Retrieved from <http://www.ogbus.ru>. (In Russ.).
 16. **Stenina, E. I.** (2019). The influence of flame retardants on the strength of wood [Vliyanie antipirenov na prochnost drevesini]. *Forest Science in the Implementation of the Concept of the Ural Engineering School: Socio-Economic and Environmental Problems of the Forest Sector of the Economy: Proceedings of the XII International Scientific and Technical Conference, Yekaterinburg*, 73-77. Retrieved from <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/8503> (In Russ.).
 17. **Toturbiev, B. D.** (1988). Building materials based on silicate-sodium compositions [Stroitelnie materiali na osnove silikatno_natrievih kompozicii]. M.: Stroyizdat. (In Russ.).
 18. **Ustinov, A. S., & Pitukhin, E. A.** (2018). Modeling of the formation of a stable phase of a composite material liquid glass — graphite microparticles [Modelirovanie obrazovaniya stabilnoi fazi kompozitsionnogo materiala jidkogo stekla — mikrochastic grafita]. *Bulletin of the International Academy of Cold*, (3), 80-86. <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2018-17-3-80-86> (In Russ.).

UDC 711
IRSTI 67.07.11
RESEARCH ARTICLE

QUALITY IMPROVEMENT EFFECTIVENESS OF ROAD SLABS PRODUCED USING MICROSILICA AND FIBER

B.T. Kopzhassarov¹ , D.A. Akhmetov² , A.M. Zhagifarov^{2*} , I.E. Abdraimov¹ ,
M.T. Kutybai¹ , Z.O. Zhumadilova² 

¹ South Kazakhstan University named after M.Auezov, 160012, Shymkent, Kazakhstan
² Satbayev University, 050013, Almaty, Kazakhstan

Abstract. *Here we present the results of testing the concrete physical and mechanical properties for road slabs reinforced with bulk fiber, including polypropylene macro- and microfibers. We have analyzed the effect of the use of macrofibers and microfibers in the concrete composition. There was established the impact of low-modulus synthetic fibers on the characteristics of strength, density, water resistance and frost resistance of concrete for road pavement. It was established that polypropylene macrofibers impact on the physical and technical characteristics of concrete, increase compressive and bending strength, and polypropylene microfibers improve the structure of the cement component of concrete, optimize the pore space, increase the frost resistance and water resistance of concrete. It has been experimentally proved that owing to the combined use of various sized fiber fibers, it is possible to produce concrete that has good characteristics in strength, density and frost resistance. It was established that with the combined concrete fiber reinforcement with microsilica addition, we get the possibility of increasing bending strength up to 35%, frost resistance up to F375 and water resistance up to W14. The research results make it possible to recommend multi-dimensional polypropylene fibers for volumetric reinforcement and microsilica to create additional crystallization centers and reduce the pore space in the concrete body at road slabs manufacture.*

Keywords: *fibroconcrete, low-modulus synthetic fibers, flexural strength, frost resistance, water resistance, microsilica.*

***Corresponding author**
Adlet Zhagifarov, e-mail: adletzhagifar@gmail.com

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-06>

Received 16 April 2024; Revised 29 April 2024; Accepted 17 May 2024.

КРЕМНИЯЛЫҚ ТАЛШЫҚТАРДЫ ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ ЖОЛ ТАҚТАЙШАЛАРЫНЫҢ САПАСЫН АРТТЫРУ ТИІМДІЛІГІ

Б.Т. Копжасаров¹ , Д.А. Ахметов² , А.М. Жагифаров^{2*} , И.Е. Абдраимов¹ ,
М.Т. Құттыбай¹ , Ж.О. Жұмаділова² 

¹М.О. Әуезов атындағы Қазақ зерттеу университеті, 160012, Шымкент, Қазақстан

²Сәтбаев университеті, 050013, Алматы, Қазақстан

Аңдатпа. Мұнда полипропилен макро- және микроталшықтарымен көлемді талшықты арматураланған жол плиталарына арналған бетонның физикалық-механикалық қасиеттерін сынау нәтижелері берілген. Бетондағы макро- және микроталшықты қолданудың әсері талданады. Төмен модульді синтетикалық талшықтардың жол төсемдеріне арналған бетонның беріктігі, тығыздығы, суға төзімділігі және аязға төзімділігі сипаттамаларына әсері анықталды. Полипропилен микроталшықтары бетонның физикалық және техникалық сипаттамаларына әсер ететіні, қысу және иілу беріктігін жоғарылататыны, ал полипропиленді микроталшықтар бетонның цемент құрамдас бөлігінің құрылымын жақсартатыны, кеуекті кеңістікті оңтайландыратыны, бетонның аязға төзімділігі мен суға төзімділігін арттыратыны анықталды. . Әртүрлі өлшемдегі талшықтарды біріктіріп қолдану арқылы беріктігі, тығыздығы және аязға төзімділігі бойынша жақсы сипаттамалары бар бетон алуға болатыны тәжірибе жүзінде дәлелденген . Микрокремний қосындысымен бетонды талшықты талшықпен біріктірілген арматура иілу беріктігін 35%-ға дейін, аязға төзімділікті F375-ке дейін және суға төзімділікті W14-ке дейін арттыруы мүмкін екендігі анықталды . Зерттеу нәтижелері көлемді арматура үшін көп өлшемді полипропилен талшықтарын және қосымша кристалдану орталықтарын құру және жол плиталарын өндіруде бетон корпусындағы кеуекті кеңістікті азайту үшін микрокремнийді ұсынуға мүмкіндік береді .

Түйін сөздер: талшықты темірбетон , төмен модульді синтетикалық талшықтар, иілу беріктігі, аязға төзімділік.

*Автор-корреспондент

Адлет Жагифаров, e-mail: adletzhagifar@gmail.com

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-06>

Алынды 16 сәуір 2024; Қайта қаралды 29 сәуір 2024; Қабылданды 17 мамыр 2024.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ДОРОЖНЫХ ПЛИТ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА И ФИБРОВЛОКНА

Б.Т. Копжасаров¹ , Д.А. Ахметов² , А.М. Жагифаров^{2*} , И.Е. Абдраимов¹ ,
М.Т. Куттыбай¹ , Ж.О. Жумадилова² 

¹Южно-казахстанский университет им. М.Ауэзова, 160012, Шымкент, Казахстан

²Сатпаев университет, 050013, Алматы, Казахстан

Аннотация. *Представлены результаты испытаний физико-механических свойств бетона для дорожных плит с объемным армированием полипропиленовыми макро- и микроволокнами. Нами проанализирован эффект от использования макроволокон и микроволокон в составе бетона. Установлено влияние низкомодульных синтетических волокон на характеристики прочности, плотности, водостойкости и морозостойкости бетона для дорожных покрытий. Установлено, что полипропиленовые макроволокна влияют на физико-технические характеристики бетона, повышают прочность на сжатие и изгиб, а полипропиленовые микроволокна улучшают структуру цементной составляющей бетона, оптимизируют поровое пространство, повышают морозостойкость и водостойкость бетона. Экспериментально доказано, что за счет комбинированного использования волокнистых волокон различного размера можно изготавливать бетон, обладающий хорошими характеристиками по прочности, плотности и морозостойкости. Установлено, что при комбинированном армировании бетона фиброволокном с добавкой микрокремнезема получаем возможность повышения прочности на изгиб до 35 %, морозостойкости до F375 и водостойкости до W14. Результаты исследований позволяют рекомендовать многомерные полипропиленовые волокна для объемного армирования и микрокремнезем для создания дополнительных центров кристаллизации и уменьшения порового пространства в теле бетона при изготовлении дорожных плит.*

Ключевые слова: *фибробетон, низкомодульные синтетические волокна, прочность на изгиб, морозостойкость, водостойкость, микрокремнезем.*

*Автор-корреспондент

Адлет Жагифаров, e-mail: adletzhagifar@gmail.com

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-06>

Поступило 16 апреля 2024 г.; Пересмотрено 29 апреля 2024 г.; Принято 17 мая 2024 г.

ACKNOWLEDGEMENTS/SOURCE OF FUNDING

This research is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR21882292 – “Integrated development of sustainable construction industries: innovative technologies, optimization of production, effective use of resources and creation of technological park”).

CONFLICT OF INTEREST

The authors state that there is no conflict of interest.

АЛҒЫС/ҚАРЖЫЛАНДЫРУ КӨЗІ

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (BR 21882292 тақырыбы бойынша: "тұрақты құрылыс саласын интеграцияланған дамыту: инновациялық технологиялар, өндірісті оңтайландыру, ресурстарды тиімді пайдалану және технологиялық парк құру")

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

БЛАГОДАРНОСТИ/ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант BR 21882292 по теме: «Интегрированное развитие устойчивой строительной отрасли: инновационные технологии, оптимизация производства, эффективное использование ресурсов и создание технологического парка»).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

1 КІРІСПЕ

Зерттеу құрылыс жобаларында жол тақталарын пайдаланатын компаниялардың көптеген сұраныстары бойынша жүргізілді. Құрылысшылар осы өнімдердің қалыңдығы мен салмағын азайта отырып, беріктігі, тығыздығы және аязға төзімділігі жақсартылған физикалық-техникалық көрсеткіштері бар жол тақталарын алғысы келеді. Бұл физика-механикалық сипаттамалары жақсартылған көп компонентті құрылымның бетондарының белсенді дамуының арқасында мүмкін болды. Оларға танымал болып келе жатқан әртүрлі мақсаттағы көлемді талшықты арматурасы бар ауыр бетондар жатады. Арматуралық талшықтардың ең перспективалы түрлері полипропилен талшықтары болып табылады, олар жақында Құрылыс бұйымдары мен бетон конструкцияларын өндіруде кеңінен қолданылады ([Zhavoronkov, 2017](#)). Сонымен қатар, полимерлі талшық, мысалы, $pH > 7$ -де бетонның сілтілі ортасында оңай коррозияға ұшырайтын шыны талшықпен салыстырғанда коррозияға төзімділікпен сипатталады. Дегенмен EN 197-1:2011 стандартын қолдана отырып, полипропилен талшықтары бар фибробетонның ыдырау процесін егжей-тегжейлі зерттеу деформацияның келесі кезеңдерінде талшықтың мінез-құлқы өзгерісін зерттеу нәтижелері бойынша салынған графикте көрсетілген ([сурет 1](#)).



Сурет 1 - Төмен модульді талшықтың көлемдік құрамына байланысты фибробетон беріктігінің өзгеру сипаты (авторлар материалы).

Қоспадағы талшықтардың аз мөлшерінен композиттің беріктігі өзгермейтінін [1 суреттен](#) көруге болады, талшықтардың шығыны ұлғайған сайын беріктіктің шамалы төмендеуі байқалады, бірақ олардың саны одан әрі ұлғайған кезде бұл төмендеу талшықтың бетіне жақын цемент тасының құрылымын тығыздау және қатайту арқылы өтеледі және ол 17% - ға дейін артуы мүмкін. Болашақта цемент матрицасының беріктігі технологиялық себептерден туындаған оның құрылымындағы ақаулар мен стратификациялардың пайда болуына байланысты төмендейді. Цемент матрицасының құрамындағы төмен модульді талшықтардың мұндай аралас мінез-құлқы қосымша зерттеулерді қажет етеді ([Ismailov et al., 2018](#)).

Бетонның физикалық-техникалық сипаттамаларын жақсартуға және цемент матрицасының кеуекті мөлшерін азайтуға ферросилиций өндірісінің қалдық өнімі ультра жұқа белсенді кремний диоксиді қосу арқылы қол жеткізіледі ([Puharenko et al., 2020](#)). Бұл мақалада беріктіктің, тығыздықтың және аязға төзімділіктің физикалық және техникалық көрсеткіштерін жақсарту мақсатында көлемді талшықты күшейту және цемент матрицасын микрокремниймен модификациялау арқылы жасалған жол плиталарына арналған ауыр бетонның физикалық, механикалық және пайдалану сипаттамалары қарастырылады. Мақалада өнімдегі цемент пен арматуралық металдың мөлшерін азайту, технологиялық процесті жеңілдету және өндірістік процестерді автоматтандыру арқылы қол жеткізілетін шығындарды азайту мәселелері де жанама түрде қарастырылған ([Puharenko et al., 2008](#); [Puharenko et al., 2020](#); [Akhmetov et al., 2022](#)).

Зерттеудің мақсаты жоғары өнімділік қасиеттері бар жол плиталарын жасау үшін бетонның оңтайлы құрамын табу болды.

Осы мақсатқа жету үшін бірнеше шешімдер ұсынылды:

- әртүрлі мөлшердегі талшықтары бар 2 компонентті талшықты қолдана отырып, ауыр бетондардың құрамын таңдау және EN 197-1:2011 стандартын пайдаланып, олардың сипаттамаларын зерттеу;

- микрокремнеземді қосу арқылы цемент матрицасын өзгерту және алынған нәтижелерді бағалау.

- кезектесіп мұздату және еріту әдісімен аязға төзімділікті сынау, соңғы конгломераттың тығыздығы мен суға төзімділігін бағалау арқылы алынған композициялардың қызмет ету мерзімін зерттеу ([Ismailov et al., 2018](#)).

2 МАТЕРИАЛДАР МЕН ӘДІСТЕР

Бетон қоспасы үшін шикізат пен басқа компоненттерді талдау және таңдау халықаралық стандарттар талаптарын ескере отырып, өндірушілер ұсынған мәліметтер бойынша жүзеге асырылды. Содан кейін сынау үшін зауытта жол плиталарын шығаратын C25/30 класты ауыр бетонның бақылау құрамы таңдалды. Әрі қарай, осы зерттеу саласындағы авторлардың бұрын жарияланған жұмыстарын ескере отырып, цементтің бір бөлігін кремний диоксидімен ауыстыруды қамтитын ауыр бетонның құрамын есептеуге бағытталған теориялық зерттеу жүргізілді. Содан кейін алынған нәтижелер өңделіп, талданды және алынған композициялардың беріктігін, тығыздығын, аязға төзімділігін және суға төзімділігін арттыру үшін екі түрлі өлшемдегі полипропилен талшығының оңтайлы мөлшерін бетонға енгізу үшін жұмыс бағытын одан әрі таңдау анықталды. Қолданбалы зерттеулер теориялық әдістерді тәжірибе жүзінде растауға және өндірістік сынақтан өткізуге бағытталған.

Зерттеу 6 кезеңде жүргізілді, олардың әрқайсысы нақты міндеттерді шешуге бағытталған:

- 1 кезең: осы материалдардың нормативтік құжаттарына сәйкес зерттеу үшін негізгі материалдарды таңдау.

- 2 кезең: микрокремнеземнің оңтайлы мөлшерін пайдалана отырып, C25/30 класты ауыр бетондардың тәжірибелік құрамдарын бағалау және іріктеу, EN 12390-3:2019 стандартын қолдана отырып негізгі физикалық-техникалық көрсеткіштерді анықтау.

- 3 кезең: полипропилен талшығының 2 танымал түрінің есептік санын кезең-кезеңмен және бірлесіп қосу және 28 күндік бетонның негізгі физикалық-техникалық параметрлерін анықтау.

- 4 кезең: бетонның тығыздығын, аязға төзімділігін, көлемді суды сіңіруді сынау және өлшеу арқылы үлгілерді пайдалану сенімділігіне сынау.

- 5 кезең: алынған нәтижелерді салыстыру, талқылау және талдау.

- 6 кезең: пайдалану бойынша негізгі тұжырымдар мен ұсыныстар.

Пайдаланылған материалдардың сипаттамасы төменде келтірілген.

1-кестеде EN 12620:2013 стандартына сәйкес қабылданған байланыстырғыштың (цементтің) сипаттамалары көрсетілген.

Цементтің сипаттамасын.

Цемент маркасы - ЦЕМ I 42,5Н, өндіруші - "Гейдельберг" ЖШС (Шымкент, Қазақстан), қысу беріктігі 28 тәулік жасында - 50,1 МПа кем емес, бастапқы қатуы - 100 мин кем емес, 1 м³ ауыр бетонға шығын – 350-450 кг. Көрсетілген цемент сипаттамаларын EN 196-2:2013 стандартынан алынған. (CEM I 52,5 Н егжей-тегжейі: ([Ristavletov et al., 2019](#)) мақалада келтірілген - гипстің құрамы бойынша бірінші типті білдіреді (SO₃-ке сәйкес), ол 1,5%-тан төмен емес және 3,5-4,0% - тан жоғары болмауы керек; 42,5-қысу беріктігінің минималды нормативтік мәніне сәйкес келетін беріктік класын білдіреді; N-ерте жаста қалыпты беріктігі бар сыныпты білдіреді).

Кестеде 1 CEM I 42,5 N химиялық құрамы көрсетілген. Химиялық құрамы EN 933-1:2012 стандартына сәйкес берілген.

Кесте 1

CEM I массалық үлесінің мазмұны 42,5 N, % (авторлар материалы)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Басқа қоспалар
20.30	5.75	5.36	63.18	3.07	0.77	0.78	0.48	0.36

Таңдалған байланыстырғыштың талаптарға және стандартқа сәйкестігін растау үшін, EN 12620:2013 стандартын қолданып бірқатар сынақтар жүргіздік. EN 933-1:2012 және BS EN 13263-1:2005+A1:2009 стандарттарына енгізілген әдістер келесі параметрлерді анықтауға мүмкіндік береді:

1) ұнтақтау жұқалығы:

Сыналған байланыстырғыш 92,9% ұнтақтауды көрсетті.

2) Цемент пастасының қалыпты тығыздығы және қату уақыты:

Сыналған байланыстырғыш қалыпты тығыздықты 26,1% көрсетті. 2 сағат 01 минут, ал орнату өлшеу сәтінен бастап 4 сағат 18 минуттан кейін аяқталды. Алынған көрсеткіштерді EN 933-1:2012 және өндірушіден құм BS EN 13263-1:2005+A1:2009 стандарттарына сәйкес келеді.

Өндіруші «Марка» ЖШС (Алматы облысы, Қазақстан) құмы пайдаланылды. Бұл толтырғыш стандарт талаптарына сәйкес келеді. 3-кестеде қолданылатын ұсақ толтырғыштың (құмның) сипаттамалары көрсетілген.

Құмның қасиеттері.

Құм тобы – дөрекі, Өндіруші – «Марка» ЖШС (Алматы, Қазақстан), Дән мөлшері – 2,55 мм, № 063 елеуіштегі жалпы қалдық – 61,4 %, Шаң және саз қоспаларының мөлшері – 1,03 % Ауыр бетонның 1 м³ шығыны – 800 -1000 кг.

Бетон қоспасы мен бетонның қанағаттанарлық сипаттамаларын алу үшін шаң тәрізді қосындылардың мөлшері 1,5% аспайтын құмды пайдалану қажет. Зерттелетін құмдағы шаң мен саз қоспаларының мөлшері 1,03% құрады. Құмның ұсақтық модулі 2,55 болды. Бұл көрсеткіштер EN 13263-1:2005+A1:2009 стандарты бойынша ауыр бетонда зерттелетін толтырғышты қолдану үшін қолайлы.

5-10 мм, 10-15 мм, 10-20 мм, 15-20 мм, 20-40 мм, 40-80 мм фракцияларын және 5-20 мм фракцияларының қоспаларын себу кезінде бақылау електеріндегі қалдық сомасының бетон қоспасының қанағаттанарлық сипаттамаларын алғанға дейін ауыр бетондардың ірі агрегаттары (қиыршық тас) үшін 2-кестеде көрсетілгендерге сәйкес келуі тиіс, мұндағы d және D – мм-дегі ең кіші және ең үлкен номиналды астық мөлшері.

Кесте 2

Дөрекі толтырғыш үшін ұсынылатын скрининг көрсеткіштері* (авторлар материалы)

Бақылау електерінің тесіктерінің диаметрі, мм	Бақылау електеріндегі қалдықтардың сомасы, массасы бойынша %
г	90- нан 100- ге дейін
0,5(d+D)	30- дан 60-ға дейін _
D	10- ға дейін
1,25D	0,5 дейін

* 5-10 мм фракциялардың қиыршық тастары және 5-20 мм фракциялардың қоспалары үшін қосымша: 2,5 мм (немесе 1,25 мм) төменгі елеуіштер, олардың жалпы қалдығы 95% -дан 100% -ға дейін болуы керек.

Көрсеткіштерді BS EN 13263-1:2005+A1:2009 осы стандартқа сәйкес қолдандық. Өндіруші мен тұтынушы арасындағы келісім бойынша електің жалпы қалдығы 0,5 (d+D) массасы бойынша 30-дан 80%-ға дейін қиыршық тас өндіруге рұқсат етіледі.

Кесте 3

Сипаттамалар үлкен толтырғыш (авторлар материалы)

Астық мөлшері, мм	Өндіруші	Електердегі толық қалдықтар 0,5 (д+Д), % (норма 30-60)	Електегі толық қалдық 1,25 Д, % (норма 0,5 аспайды)	Ауыр бетонның 1 м ³ шығыны, кг
5-10	Балтабай, ЖШС	56,22	0,37	200-400
10-20	(Алматы, Қазақстан)	58,97	0,45	500-700

(**Bazhenov, 2011**) сәйкес қабылданған модификациялаушы қоспаның (кремний газының түтінінің) сипаттамалары көрсетілген.

Кесте 4

Микрокремнийдің сипаттамалары (авторлар материалы)

Түр	Өндіруші	Белсенді SiO ₂ массалық үлесі, салмағы бойынша%, кемінде 95	Ауыр бетонның 1 м ³ шығыны, кг
МК-95	«Тау-Кен Темір» ЖШС, Қарағанды к., ҚР	95,9	50-ге дейін

Микрокремнийдің құрамында диаметрі 0,1 мкм, меншікті бетінің ауданы 15-25 м²/г және одан жоғары сфералық бөлшектер бар. Сусымалы тығыздығы 150-ден 250 кг/м³-ге дейін. Химиялық құрамы бойынша микрокремний негізінен кристалды емес кремний диоксидімен ұсынылған, оның мөлшері әдетте 85-тен асады және 98% жетеді. Микрокремнийдің меншікті бетінің ауданы «Тау Күн Темір» ЖШС мәліметтері бойынша 3980 см²/г, Қарағанды, Қазақстан (**Ristavletov et al., 2019**).

(**Reddy & Naqash, 2020**) сәйкес қабылданған микрокремнийдің химиялық құрамы көрсетілген.

Кесте 5

Микрокремнийдің химиялық құрамы МК-95,% (авторлар материалы)

SiO ₂	C	Ылғал	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	pH	ρ, г / см ³	п.п.п.
95,9	1,3	1,07	0,07	0,2	0,46	7,89	0,44	2,68

Микрокремнеземнің сапа стандарттарымен салыстырғанда Interstate Standard GOST21924.0-84 пайдалана отырып өндіруші ұсынған химиялық құрамнан микрокремнезем құрамындағы оксидтердің мөлшері қойылған міндеттердің нәтижелерін алу үшін жеткілікті екендігі шығады.

Кестеде 6-да (**Bazhenov, 2011**) сәйкес қабылданған химиялық қоспаның (поликарбонатты гиперпластификатор) сипаттамалары келтірілген.

Кесте 6

Поликарбонаттың сипаттамасы гиперпластификатор РКЕ (авторлар материалы)

Түрі	Өндіруші	Аддитивті тиімділік критерийлері	Ауыр бетонның 1 м ³ шығыны, кг
AR 122	«ARPG» ЖШС Астана, Қазақстан	П1-ден П5-ке дейін	5-тен 8-ге дейін

1 және 28 күндік қатаю кезеңдеріндегі тәжірибелік құрамдармен салыстырғанда негізгі құрамдардағы беріктігінің өзгеруімен (ΔR_t , %) бағаланды (формула 1).

$$\Delta R_t = \left(\frac{R_t^{\text{контр}} - R_t^{\text{осн}}}{R_t^{\text{контр}}} \right) \cdot 100\% \quad (1)$$

Қайда $R_t^{\text{осн}}$ және $R_t^{\text{контр}}$ - t, МПа қатаю уақыты бойынша негізгі және тәжірибелік құрамдағы бетонның немесе ерітінділердің беріктігі.

Геометриялық сипаттамалардағы айырмашылық негізінде арматуралық талшықтар шартты түрде микроталшықтарға (диаметрі ондаған микрометрге жетеді, ал ұзындығы, әдетте, 25 мм-ге дейін болады) және макроталшықтарға (диаметрі бірнеше миллиметрге жетеді, ұзындығы - ондаған миллиметр). Эксперименттік зерттеулер кезінде синтетикалық күшейтетін талшықтардың екі түрі қолданылды - макроталшықтар FibroLux және микрофибрлер Фибрин «Фибролюкс» ЖШҚ, Санкт-Петербург, өндіруші мәлімдеген олардың сипаттамалары 7-кестеде көрсетілген.

Кесте 7

Қолданылатын талшықтардың техникалық сипаттамалары (авторлар материалы)

Сипаттама	Мағынасы	
Талшықтың атауы	FibroLux	Fibrin
Талшық түрі	Макрофибра	Микрофибра
Материал	өзгертілген полипропилен	өзгертілген полипропилен
Орташа тығыздығы, кг/м ³	920	907
Ұзындығы, мм	50	15
Эквивалентті диаметрі, мм	0,75	0,02
Созылу беріктігі, МПа	415	385
Химиялық әсерге төзімділік	-	-
Балку температурасы, °С	170	170
Жану температурасы, °С	> 350	> 350
Серпімділік модулі, МПа	-	-
Өткізгіш қуат	-	-

Бұдан әрі 8-кестеде ПД 1-6 және ПД 2-6 жол плиталарын өндіру үшін пайдаланылатын цемент тұтқыр затты және EN 206:2013+A1:2016 осы стандартты пайдаланып жасалған С25/30 класты өнеркәсіптік бетонның құрамы келтірілген. Бұл композицияны біз одан әрі эксперименттер үшін бақылау ретінде қабылдадық.

Кесте 8

С25/30 класындағы бетонның бақылау құрамы (авторлар материалы)

Цемент		Құм		Қиыршық тас (5-10 мм)		Қиыршық тас (10-20 мм)		PCE - AR 122		Су		Тығыздық
кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг / м ³
400	16.1	971	39.2	287	11.6	667	26.9	5.9	0.24	148	6	2382,3

Микросилика цемент, толтырғыш және толтырғыш конгломератының кеуектерінде бола отырып, бетонның тығыздығын арттыру үшін қолданылады, микрокремний композицияның қатты фазасын жоғарылатады және оны тығыздайды, осылайша бетонның тығыздығын арттырады және бетонның реологиялық қасиеттерін өзгертеді ([Raza et al., 2022](#)).

Содан кейін үлгілер EN 1992-1-1:2004/AC:2008 стандартына сәйкес беріктікке, орташа тығыздыққа, аязға төзімділікке және суға төзімділікке сыналған ([Uteпов et al., 2020](#)).

Талшықты темірбетон үлгілерін сынау нәтижесінде алынған тәжірибелік мәліметтерді талдау бір өлшемдегі талшық тәжірибелік бетонның кейбір сипаттамаларын ғана жақсарта алатынын көрсетті, ал басқа қасиеттері іс жүзінде өзгеріссіз қалады. Мысалы, полипропиленді макроталшықтар бетонның беріктігін арттырады, бірақ талшықты темірбетонның аязға төзімділігі мен суға төзімділік сипаттамаларына іс жүзінде әсер етпейді. Микрофибр сонымен қатар аязға төзімділікті, суға төзімділікті және тозуға төзімділікті арттырады (Anas et al., 2022), бірақ беріктіктің артуы 10% -дан аспайды. Нәтижесінде беріктігі де, беріктігі де жоғары бетон алу үшін әртүрлі өлшемдегі талшықтарды бір конгломератқа біріктіру туралы шешім қабылданды.

Қолда бар мәліметтерге сәйкес әртүрлі қатынаста ұсынылған төмен модульді макро- және макроталшықтармен бір мезгілде күшейтілген талшықты темірбетонның физикалық және техникалық параметрлеріне эксперименталды зерттеулер жүргізілді. Төменде келтірілген әдістемені пайдаланатын факторлар.

2.1 ИІЛУ КЕЗІНДЕГІ ҚЫСУ ЖӘНЕ СОЗЫЛУ БЕРІКТІГІНІҢ НЕГІЗГІ СИПАТТАМАЛАРЫН АНЫҚТАУ

Сығылу және созылу кезінде иілу сынақтарының бөлігі ретінде 100×100×100 мм және 100 × 100 × 400 мм пішіндегі үлгілер тәжірибелік құрамның қоспасынан, содан кейін EN 12350-2:2019 стандартына сәйкес әрбір келесі сынақ композициясынан қалыптастырылды. Содан кейін үлгілер 28 күнге жеткенде сынақтар жүргізілді.

Осы сынақтардың нәтижелерін өңдеу және бағалау мына формула бойынша жүргізілді: Бетонның қысу беріктігі (R , МПа) формула бойынша 0,01 МПа дәлдікпен есептелді.

$$R = \alpha \frac{F}{A} K_W \quad (2)$$

мұндағы: F – үзу жүктемесі, N; A – үлгінің жұмыс бөлігінің ауданы, мм²; α - 100x100x100 мм өлшемдегі үлгілердегі бетонның беріктігін бетонның беріктігіне дейін төмендетуге арналған масштабтық факторлар;

Бетонның иілу кезіндегі созылу беріктігі формула бойынша 0,01 МПа дәлдікпен есептелді.

$$R_{bt} = \delta \frac{Fl}{ab^2} K_W \quad (3)$$

мұндағы: F – үзу жүктемесі, N;

a , b , l , - сынамаларды созу иілісіне сынау кезінде сәйкесінше призма қимасының ені, биіктігі және тіректер арасындағы қашықтық, мм;

δ - негізгі өлшемдер мен пішіндердің үлгілеріндегі бетонның беріктігін бетонның беріктігіне дейін төмендетуге арналған масштабтық коэффициенттер;

K_W - сынау кезінде үлгілердің ылғалдылығын ескере отырып, ұяшықты бетон үшін түзету коэффициенті (ауыр, ұсақ түйіршікті және ALP үшін қолданылмайды).

микрокремнийі мен көлемді талшықты арматураның иілу кезіндегі қысу және созылу беріктігіне әсерінің тәуелділігі анықталды.

2.2 БЕТОННЫҢ СУ ӨТКІЗБЕЙТІНДІГІН АНЫҚТАУ

Бетонның суға төзімділігін анықтауға арналған сынақтар EN 12350-2:2019 стандартына сәйкес жүргізілді, мұнда суға төзімділік бойынша бетонның сыныбын анықтау кезінде су қысымы әрбір 1-5 минут сайын 0,2 МПа қадаммен көтеріледі және әр қадам сайын сақталады, белгілі бір уақытқа. Сынақ үлгінің жоғарғы шеткі бетінде тамшылар түріндегі суды сүзу белгілері немесе ылғалды дақ пайда болғанша жүргізіледі (Muhammad et al., 2015). Бетонның

су өткізбейтіндігі W дәрежесі судың максималды қысымына (0,1 МПа) сәйкес келетін бетонның су өткізбейтіндігінің көрсеткіші ретінде түсініледі, бұл кезде (визуалды бағалау бойынша) дымқыл нүкте әдісімен сыналған үлгі арқылы суды сүзу болмайды (Li et al., 2023).

Әрбір үлгінің суға төзімділігі оның үлгі арқылы сүзілуі әлі байқалмаған судың максималды қысымымен бағаланады.

Үлгілер жиынтығының суға төзімділігі алты үлгінің кем дегенде төртеуінде сүзу байқалмаған судың максималды қысымымен бағаланады.

Суға төзімділік үшін бетонның маркасы 9-кестеге сәйкес қабылданады

Кесте 9

Бетонның суға төзімділігі (авторлар материалы)

Үлгілер жиынтығының суға төзімділігі, МПа	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Су өткізбейтін бетон маркасы	W2	W4	W6	W8	W10	W12	W14	W16	W18	W20

2.3 БЕТОННЫҢ ОРТАША ТЫҒЫЗДЫҒЫН АНЫҚТАУ

Бетонның орташа тығыздығын анықтау үшін сынақтар жүргізілді, онда қалыпты пішінді үлгілердің көлемі олардың геометриялық өлшемдері негізінде есептеледі. Үлгілердің өлшемдері қателігі 1% аспайтын сызғыш немесе штангенциркуль көмегімен анықталады. Үлгілердің массасы 0,1%-дан аспайтын қателікпен өлшеу арқылы анықталады.

орташа тығыздығы ρ_w , кг/м³ келесі формула бойынша 1 кг/м³ дейінгі қателікпен есептеледі:

$$\rho_w = m / V * 1000 \quad (4)$$

мұндағы m – үлгінің массасы, кг; V – үлгі көлемі, м³. Бетонның орташа тығыздығы жинақтың барлық үлгілерінің сынау нәтижелерінің орташа арифметикалық мәні ретінде есептеледі.

Орташа тығыздық бойынша барлық мәліметтерді алғаннан кейін (13,14-кестелер) әртүрлі өлшемдегі полипропилен талшықтарымен талшықты арматураның әсерінің және бір мезгілде полиарматуралық әсердің бетонның орташа тығыздығына тәуелділігі анықталды.

3 НӘТИЖЕЛЕР МЕН ТАЛҚЫЛАУ

Зертханалық сынақтар кезінде алынған үлгілердің физикалық-механикалық сипаттамаларының мәндері кестеде келтірілген. 10. 1м³ микрокремний қосындылары бар бетонның құрамдары және 7 және 28 күндік беріктік деректері.

Кесте 10

МК-95 микрокремниймен С25/30 класты бетонның құрамы (авторлар материалы)

№	W/C	Цемент		Құм		Қиыршық тас (5-10 мм)		Қиыршық тас (10-20 мм)		AR-122		MC-95		Су		2 күндік қысу күші		7 күндік қысу күші	
		кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	МПа	%	МПа	%
1*	0.37	400	16.1	971	39.2	287	11.6	667	26.9	5.9	0.24	-	-	148	6.0	23.3	71,3	33.1	101,1
2	0.37	400	16.0	971	38.5	287	11.5	667	26.8	5.9	0.24	10	0.4	152	6.1	24.8	75,7	34.2	104.6
3	0.36	390	15.7	971	39.0	287	11.5	667	26.8	5.9	0.24	20	0.8	147	5.9	25.2	77,1	36.6	111.9
4	0.36	380	15.3	971	39.0	287	11.5	667	26.8	5.9	0.24	30	1.2	147	5.9	26.0	79,6	37.9	115.8
5	0.35	370	14.9	971	39.1	287	11.6	667	26.8	5.9	0.24	40	1.6	144	5.8	26.6	81,4	39.3	120.2
6	0.35	360	14.5	971	39.1	287	11.6	667	26.8	5.9	0.24	50	2.0	144	5.8	27.2	83,3	41.8	127.7

* пилоттық композиция

C25/30 класындағы тәжірибелік бетон құрамының 32,7 МПа орташа қысу беріктігі 100% деп алынды.

Үстелден 10-суретте цементтің бір бөлігін микрокремний тотығымен МК-95 алмастырған кезде бастапқы кезеңде беріктіктің жоғарылауының жалпы тенденциясы көрсетілген, ал микрокремний тотығының көбеюімен әсер күшейеді, белсенді SiO₂ қосылуы түзілу үшін жағдай жасайды. негізінен төмен негізді элементтерден тұратын кристалдардың ең тығыз қаптамасы бар құрылым кальций гидросиликаттары (кальций силикат гидроксиді гидраты) Ca₅(OH)₂Si₆O₁₆*4H₂O(CaO/SiO₂<1,5), бұл авторлардың (Puharenko & Kostrikin; 2020)-да баяндалған теориясын растайды.

3-суретте цементті кремнеземмен ішінара алмастыратын тәжірибелік бетон құрамы мен құрамдары үшін 7 және 28 күндік жаста беріктіктің пайыздық өсімі анық көрсетілген.



Сурет 2 - Микрокремний қосындылары бар үлгілердің сығымдалу беріктігі (авторлар материалы)

50 кг-ға дейінгі мөлшердегі микрокремний МК-95пен ауыстыру 7 күндік жаста беріктік өсімін 12%-ға дейін арттыруға мүмкіндік беретінін көруге болатынын және EN 12350-2:2019 стандартына сәйкес 28 күндік жаста 25%-ға дейін және тармағында көрсетілген реологиялық және беріктік сипаттамаларын сақтай отырып, ЦЭМ цемент I 1 м³-ке 42,5 н шығынын 400 кг-нан 360 кг-ға дейін төмендетеді.

Талшықты темірбетон композицияларының жиынтық физикалық және техникалық сипаттамалары 11-кестеде келтірілген.

Бетонды талшықтармен арматуралау нәтижесінде алынған тәжірибелік мәліметтердің сынақ нәтижелерін талдау және кестеде келтірілген. 11 талшықтардың кейбір түрлері бастапқы бетонның кейбір қасиеттерін ғана жақсартатынын көрсетті, ал оның басқа қасиеттері іс жүзінде өзгеріссіз қалады. Мысалы, автор бұрын (Akhmetov et al., 2022) көрсеткендей, полипропилен микроталшықтары талшықты темірбетонның төзімділік сипаттамаларына аздаған әсер етіп, қысу және иілу кезінде беріктік сипаттамаларын орта есеппен 27%-ға арттыратынын анықталды. Керісінше, микроталшықтарды пайдалану аязға төзімділікті, суға төзімділікті және тозуға төзімділікті жақсартуға әкеледі, ал беріктіктің артуы 10% -дан аспайды, бұл бұрын жарияланған жұмыстарға сәйкес келеді.

Бір құрамдағы, бірақ әртүрлі пропорциядағы әртүрлі өлшемдегі талшықтарды бір мезгілде қолдану арқылы талшықты темірбетонды құрамдарды сынау нәтижелері көрсетілген.

Кесте 11

Полипропилен талшықтарымен нығайтылған бетонды сынау нәтижелері (авторлар материалы)

№	Көрсеткіштер	Талшықтарды пайдалану кезіндегі көрсеткіштердің мәні			
		Талшықсыз Бетон	Фибрин микроталшық (0,1 %)	Фибрин микроталшық (0,2 %)	FibroLux микроталшық (0,8 %) / FibroLux микроталшық (1,1 %)
1	Орташа тығыздығы ρ, кг / м ³	2346	2371	2368	2379 / 2400
2	Сығымдау беріктігі	33.9	37.2	36.9	40.7 / 43.2

Рсж, МПа						
3	Иілу беріктігі R, МПа	5.44	5.47	5.52	6.61	7.23
4	Аязға төзімділік F, цикл	220	280	340	225	230
5	Суға төзімділік класы, Вт	W8	W14	W14	W8	W10
6	Абразивті қабілеті G, г/см ²	0,77	0,58	0,56	0,72	0,74

Кесте 12

Әртүрлі өлшемдегі талшықтармен күшейтілген үлгілердің физикалық-механикалық сипаттамалары (авторлар материалы)

№	Көрсеткіштер	Талшықтарды пайдалану кезіндегі көрсеткіштердің мәні				
		Талшық-сыз Бетон	Фибрин микроталшық (0,1 %) + FibroLux макроталшық (0,8 %)	Фибрин микроталшық (0,2 %) + FibroLux макроталшық (0,8%)	Фибрин микроталшық (0,1 %) + FibroLux макроталшық (1,1 %)	Фибрин микроталшық (0,2%) + FibroLux макроталшық (1,1 %)
1	Орташа тығыздығы ρ орташа, кг / м ³	2346	2365	2341	2381	2372
2	Сығымдау беріктігі Рсж, МПа	33.9	41.3	41,0	42.6	41.3
3	Иілу беріктігі R, МПа	5.44	6.83	7.03	7.31	7.11
4	Аязға төзімділік F, цикл	220	330	355	360	375
5	Суға төзімділік класы, Вт	W8	W12	W14	W14	W12
6	Абразивті қабілеті G, г/см ²	0,77	0,51	0,51	0,46	0,44

Алынған мәліметтерден бетонды төменгі модульді талшықтармен арматуралау ауыр бетонның сапасын арттырудың перспективті бағыты болып табылатыны шығады. Әртүрлі өлшемдегі талшықтардың комбинациясын оңтайлы мөлшерде қолдана отырып, макроталшықпен нығайтылған бетонға тән жоғары беріктік сипаттамаларын және полипропилен микроталшықтарымен арматураланған бетон алатын жоғары беріктік көрсеткіштерін біріктіретін бетон алуға болады, бұл стандартты талаптарға сәйкес келеді. (Ristavletov et al., 2019)-де баяндалған авторлардың пікірі. Композициялар қысу беріктігінің орташа есеппен 25%-ға және бақылау құрамға қатысты иілу беріктігінің орташа есеппен 30%-ға артуы, сәйкесінше суға төзімділіктің 3 класқа (W8-ден W14-ке дейін) жоғарылауы нәтижелерімен ұқсас сипаттамаларды көрсетті.), аязға төзімділігі 61%, тозуға төзімділігі 40%. Алынған нәтижелер жол плиталарын көлемді күшейту үшін, әсіресе әртүрлі өлшемдегі талшықтармен полиарматура арқылы төмен модульді синтетикалық талшықтарды қолданудың орындылығын көрсетті (Rabinovich, 2004).

4 ҚОРЫТЫНДЫЛАР

Көптеген зертханалық және өндірістік сынақтарға сүйене отырып, бетон құрамындағы цементтің бір бөлігін кремний диоксидімен алмастыру экономикалық және ғылыми тұрғыдан негізделген деп қорытынды жасауға болады. Осылайша, әдеттегі бетон композицияларынан айырмашылығы, модификацияланған бетондар цементті 20% -ға дейін үнемдеуге мүмкіндік береді, сонымен бірге жақсы тығыздық, аязға төзімділік және судың көлемдік сіңіру қабілеті жоғарырақ өнімділік сипаттамаларын көрсетеді. Сынақ нәтижелері көрсеткендей, алынған деректер микрокремний қосындысы бар бетонды бұрын жүргізілген зерттеулермен және цементтің бір бөлігін реактивті пуццоланмен ауыстыру арқылы қосымша кристалдану орталықтарының пайда болуы және бетон корпусындағы кеуек кеңістігінің азаюы туралы теориялық болжамдармен сәйкес келеді. қоспалар (белсенді кремнезем SiO₂), химиялық байланыс процесі ретінде Са (ОН)₂ белсенді минералды қоспамен - SiO₂ аз еритін қосылысқа

- кальций гидросиликатына теңдеу бойынша жүреді: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{SiO}_2 + m\text{H}_2\text{O} = \text{CaO} \times \text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$.

Қатайтын бетонда әрқашан микрожарықтар пайда болады, олар ерте мәжбүрлі кернеулер мен өздігінен кернеулер, цементті гидратациялау кезінде бетонның шөгуі немесе жылуды кетіру нәтижесінде пайда болады. Көп жағдайда олар кеуекті байланыс аймағында «цемент тасы - агрегаттық астық» пайда болады. Жарықшықтың негізі талшыққа тигенде, жарықшықтың одан әрі кеңеюі біраз уақытқа тоқтайды, өйткені талшық жарықшақтың негізіне әсер ететін созу күштерін сіңіреді; сызат тұрақтанады. Қысқа, өте жұқа көрінбейтін микрожарықтар көп болғандықтан, мұндай сызаттардың дамуын тиімді болдырмау үшін, ең алдымен, шағын диаметрлі талшықтардың көп болуы маңызды фактор болып табылады. Бұл жағдайда талшықтардың ұзындығы екінші дәрежелі мәнге ие, өйткені жарықшақтардың дамуының осы кезеңінде талшықтар мен цемент тасының матрицасы арасында салыстырмалы қозғалыстар болмайды, бұл біздің зерттеулеріміздің нәтижелеріне сәйкес келеді, одан ол талшықтардың мөлшері мен құрамының ұлғаюымен шөгу деформацияларының төмендеуіне жалпы тенденция бар және сәйкесінше талшықты арматураланған бетон конструкцияларындағы жарықтар ықтималдығы төмендейді және құрамға талшықтың белгілі бір мөлшерін енгізу бетон қоспалары конгломераттың шөгу деформацияларына төзімділігін арттырады және крекингті азайтады. Ғылыми тәжірибелердің нәтижелері полипропилен талшықтары бар жол плиталарына арналған бетонның көлемді талшықты арматурасының уәдесін көрсетті. Полипропиленді макроталшықтар бетонның беріктігі мен деформациялық сипаттамаларын жақсартатыны, ал полипропилен макроталшықтары цемент матрицасының құрылымын өзгертетіні, осылайша аязға төзімділік, суға төзімділік және тозуға төзімділік сияқты бетонның төзімділік көрсеткіштерін жақсартатыны анықталды. Тәжірибелер оңтайлы пропорцияда әртүрлі шөгінді талшықтарды бір мезгілде біріктіру арқылы беріктік сипаттамалары жоғары және беріктігі жоғары талшықты темірбетон алуға болатынын көрсетті. Бұл көрсеткіштерді жоғары беріктігі мен аязға төзімділігі жоғары жол плиталарын өндіруде қолдануға болады.

Қорытындылай келе, қысу беріктігі 25%-ға дейін, иілу беріктігі 35%-ға дейін, аязға төзімділігі F375-ке дейін және суға төзімділігі W14-ке дейін жоғарылаған бетон жол тақталары үшін алынған тәжірибелік деректер бізге ұсынуға мүмкіндік беретінін атап өткім келеді. қимасы қысқартылған және салмағы қазіргі кезде қолданылып жүргендерден 10-20%-дан аз жол плиталарының жарықшақтарға төзімділігін одан әрі өндірістік сынақтар үшін осы құрамдар.

ӘДЕБИЕТТЕР

1. Akhmetov, D., Akhazhanov, S., Jetpisbayeva, A., Pukharenko, Y., Root, Y., Utepov, Y. & Akhmetov, A. (2022). Effect of low-modulus polypropylene fiber on physical and mechanical properties of self-compacting concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 16, e00814. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00814>
2. Akhmetov, D. A., Pukharenko, Y. V., Vatin, N. I., Akhazhanov, S. B., Akhmetov, A. R., Jetpisbayeva, A. Z. & Utepov, Y. B. (2022). The Effect of Low-Modulus Plastic Fiber on the Physical and Technical Characteristics of Modified Heavy Concretes Based on Polycarboxylates and Microsilica. *Materials (Basel)*, 15(7), 2648. <https://doi.org/10.3390/ma15072648>
3. Anas, M., Khan, M., Bilal, H., Jadoon, S. & Khan, M. N. (2022). Fiber Reinforced Concrete: A Review, *MDPI*, 22, 3. <https://doi.org/10.3390/engproc2022022003>
4. Bazhenov, Y. M. (2011). *Concrete Technology*. ASV. Moscow, Russia. ISBN 978-5-93093-138-9. (In Russ.).
5. Ismailov, A. A., Ristavletov, R., Kopzhasarov, B., Baybolov, K., Kudabayev, R. &

- Mominova, S.** (2018). Effect of cost-effective alkaline additives on the hydration of slag-cement mixtures. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 16(9), 429-440. <https://doi.org/10.3151/jact.16.429>
6. **Li, H., Zhou, A., Wu, Y., Deng, L., Zhu, K. & Lu, F.** (2023). Research and Development of Self-Waterproofing Concrete for Tunnel Lining Structure and Its Impermeability and Crack Resistance Characteristics. *Materials*, 16, 5557. <https://doi.org/10.3390/ma16165557>
 7. **Muhammad, N. Z., Keyvanfar, A., Zaimi, M., Abd.Majid, M.Z., Shafaghat, A. & Mirza, J.** (2015). Waterproof performance of concrete: A critical review on implemented approaches, 1(101), 80-90. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.048>
 8. **Puharenko, Y. V., Sternin, V. S., & Legalov, I. N.** (2008). Opyit proektirovaniya i proizvodstva effektivnyih stroitelnyih konstruksiy iz fibroarmirovannyih betonov. *Populyarnoe betonovedenie*, 4, 113–117. Saint Petersburg, Russia. (In Russ.).
 9. **Puharenko, Y. V., Morozov, V. I. & Panteleev, D. A.** (2020). Opreделение prochnosti stsepleniya armi- ruyuschih volokon s matritsey v fibrobetone. *Stroitelnye materialy*, 3, 30–43. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-39-43> (In Russ.).
 10. **Puharenko, Y. V., & Kostrikin, M. P.** (2020). Stoykost fibrobetona k vyisokotemperaturnomu vozdeystviyu. *Stroitelstvo i rekonstruktsiya*. No.2(88). 96–106. <https://oreluniver.ru/science/journal/sir/archive?p=29> (In Russ.).
 11. **Rabinovich, F. N.** (2004). Kompozityi na osnove dispersno-armirovannyih betonov: voprosyi teorii i proektirovaniya, tehnologii, konstruksii. ASV. Moscow, Russia. (In Russ.).
 12. **Raza, S. S, Amir, M. T., Azab, M., Ali, B., Abdallah, M., El Ouni, M. H. & Elhag, A. B.** (2022). Effect of micro-silica on the physical, tensile, and load-deflection characteristics of micro fiber-reinforced high-performance concrete (HPC), *Case Studies in Construction Materials*, 17, e01380. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01380>
 13. **Reddy, B. N. & Naqash, J. A.** (2020). Review on Early Strength Concrete. *EPR International Journal of Multidisciplinary Research (IJMR)*. <https://eprajournals.com/IJMR/article/4116>
 14. **Ristavletov, R., Baybolov, K., Kopzhasarov, B., Abshenov, K. & Kudabayev, R.** (2019). Effective multifunctional additives for concrete based on the wasters of the oil industry. *Structural Concrete*, 20(5), 1541-1550. <https://doi.org/10.1002/suco.201700284>
 15. **Uteпов, Y., Akhmetov, D. & Akhmatshaeva, I.** (2020). Effect of fine fillers from industrial waste and various chemical additives on the placeability of self-compacting concrete. *Computers and Concrete*. 25, 59–65. <https://doi.org/10.12989/cac.2020.25.1.059>
 16. **Zhavoronkov, M. I.** (2017). Razvitie metodov opredeleniya harakteristik treschinostoykosti fibrobetona. St Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering., Saint Petersburg, Russia. (In Russ.).

UDC 624.21
IRSTI 67.07.03
REVIEW ARTICLE

THE USE OF PIPE CONCRETE IN AN ARCHED BRIDGE CONSTRUCTION

N.B. Kudaibergenov^{1,*} , K.Y. Astankov² , I.G. Ovchinnikov² ,
T.Sh. Abilmazhenov¹ 

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University

²Ural State University of Railway Transport

Abstract. *The experience of using tubular concrete structures in bridge construction is considered on the example of facilities built over the past 30 years in the People's Republic of China. The features of the construction of a bridge over the Xun River in Pingnan County, Guangxi Province, which currently has a record span of 575 m, are considered. An overview of outstanding facilities built using large-span lattice arches made of tubular concrete elements, working mainly on off-center compression, is performed. Various methods of mounting spans of steel-reinforced concrete arch bridges, advantages and disadvantages of each method are considered. The technology of concreting pipes is considered in detail. The designs and methods of construction of facilities using large-span arches of solid cross section with tightening for the construction of bridges with spans of 46 and 96 meters are considered. Modern research in the field of the work of bendable arches is considered in comparison with the model considering the work of a tubular concrete element as an out-of-center compressed column, which in the future can ensure more efficient use of material properties in design. The prospects of using tubular concrete structures for the construction of small bridges are indicated, which is especially important in areas remote from construction industry enterprises with an underdeveloped highway network.*

Keywords: *arched bridges, pipe concrete, small bridge construction, bendable pipe concrete, structures*

Corresponding author

Nurlan Kudaibergenov, e-mail: kudaibergenov_nb@enu.kz

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-07>

Received 22 February 2024; Revised 18 March 2024; Accepted 26 April 2024.

ӘОЖ 624.21
ҒТАМР 67.07.03
ШОЛУ МАҚАЛАСЫ

АРКАЛЫ КӨПІР ҚҰРЫЛЫСЫНДА ҚҰБЫРЛЫ БЕТОНДЫ ҚОЛДАНУ

Н.Б. Кудайбергенов^{1,*} , К.Ю. Астанков² , И.Г. Овчинников² ,
Т.Ш. Абильмаженов¹ 

¹Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

²Орал мемлекеттік қатынас жолдары университеті

Аңдатпа. Қытай Халық Республикасында соңғы 30 жыл ішінде салынған нысандар мысалында көпір құрылысында құбырлы бетон конструкцияларын қолдану тәжірибесі қарастырылады. Гуанси провинциясының Пиннань округіндегі Сюнь өзені арқылы өтетін көпір құрылысының ерекшеліктері қарастырылды, ол бүгінгі күнге дейін 575 м диноймен рекордтық аралыққа ие. Негізінен Орталықтан тыс қысу үшін жұмыс істейтін құбырлы бетон элементтерінен жасалған үлкен аралықты торлы аркаларды қолдана отырып салынған көрнекті нысандарға шолу жасалды. Болат құбырлы Арка көпірлерінің аралықтарын орнатудың әртүрлі әдістері, әр әдістің артықшылықтары мен кемшіліктері қарастырылады. Құбырларды бетондау технологиясы егжей-тегжейлі қарастырылған. 46 және 96 метрлік аралықтары бар көпірлерді салу үшін созылуы бар үлкен аралықты үздіксіз қималы аркаларды қолдана отырып, объектілерді салудың конструкциялары мен әдістері қарастырылған. Құбырлы бетон элементінің жұмысын орталықтан Сығылған баған ретінде қарастыратын модельмен салыстырғанда иілу доғаларының жұмысы саласындағы заманауи зерттеулер қарастырылды, бұл болашақта жобалау кезінде материалдардың қасиеттерін тиімді пайдалануды қамтамасыз ете алады. Шағын көпірлер салу үшін құбырлы бетон конструкцияларын пайдалану перспективасы көрсетілген бұл әсіресе автомобиль жолдарының желісі дамымаған құрылыс индустриясы кәсіпорындарынан алыс аудандарда маңызды.

Түйін сөздер: аркалы көпірлер, құбырлы бетон, шағын көпір құрылысы, иілгіш құбырлы бетон, конструкциялар

Автор-корреспондент

Нурлан Кудайбергенов, e-mail: kudaibergenov_nb@enu.kz

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-07>

Алынды 22 ақпан 2024; Қайта қаралды 18 наурыз 2024; Қабылданды 26 сәуір 2024.

УДК 624.21
МРНТИ 67.07.03
ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

ПРИМЕНЕНИЕ ТРУБОБЕТОНА В АРОЧНОМ МОСТОСТРОЕНИИ

Н.Б. Кудайбергенов^{1,*} , К.Ю. Астанков² , И.Г. Овчинников² ,
Т.Ш. Абилямаженов¹ 

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

²Уральский государственный университет путей сообщения

Аннотация. Рассматривается опыт применения трубобетонных конструкций в мостостроении на примере объектов, построенных за последние 30 лет в Китайской Народной Республике. Рассмотрены особенности строительства моста через р. Сюнь в уезде Пиннань провинции Гуанси, имеющего на сегодняшний день рекордный пролёт длиной 575 м. Выполнен обзор выдающихся объектов, построенных с применением большепролётных решётчатых арок из трубобетонных элементов, работающих преимущественно на внецентренное сжатие. Рассмотрены различные способы монтажа пролётов сталеарочных трубобетонных арок, преимущества и недостатки каждого метода. Подробно рассмотрена технология бетонирования труб. Рассмотрены конструкции и методы строительства объектов с применением большепролётных арок сплошного сечения с затяжкой для строительства мостов с пролётами 46 и 96 метров. Рассмотрены современные исследования в области работы изгибаемых арок в сравнении с моделью, рассматривающей работу трубобетонного элемента как внецентренно сжатой колонны, что в перспективе способно обеспечить более эффективное использование свойств материалов при проектировании. Указывается перспективность использования трубобетонных конструкций для строительства малых мостов что особенно важно в районах, удалённых от предприятий стройиндустрии с малоразвитой сетью автомобильных дорог.

Ключевые слова: арочные мосты, трубобетон, малое мостостроение, изгибаемый трубобетон, конструкции

*Автор-корреспондент

Нурлан Кудайбергенов, e-mail: kudaibergenov_nb@enu.kz

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-07>

Поступило 22 февраля 2024 г.; Пересмотрено 18 марта 2024 г.; Принято 26 апреля 2024 г.

ACKNOWLEDGEMENTS/SOURCE OF FUNDING

The study was conducted using private sources of funding.

CONFLICT OF INTEREST

The authors state that there is no conflict of interest.

АЛҒЫС / ҚАРЖЫЛАНДЫРУ КӨЗІ

Зерттеу жеке қаржыландыру көздерін пайдалана отырып жүргізілді.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

БЛАГОДАРНОСТИ/ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование проводилось с использованием частных источников финансирования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

1 ВВЕДЕНИЕ

Конструкции из трубобетона находят всё большее применение в строительстве – для большепролетных сооружений мостов, а также уникальных зданий большой высоты. Из сталетрубобетонных элементов (СТБ) образуются пространственные стержневые системы различной конфигурации. Трубобетон применяется и в мостостроении, где существуют перспективные поля для расширения его применения, благодаря уникальному сочетанию эффективности работы материалов, простоты конструкции, технологичности, а также высокой степени живучести элементов конструкции, даже после серьёзного повреждения элементов (**Krishan, 2011**).

Впервые в практике отечественного мостостроения трубобетон был применён на строительстве Володарского моста в г. Ленинграде по проекту Г.П. Передерия при участии инженера В.И. Крыжановского.

Трубобетонный арочный мост решётчатой конструкции впервые был построен в 1939 году недалеко от г. Каменск-Уральский в Свердловской области и эксплуатируется до настоящего времени (**Рисунок 1**).



Рисунок 1 – Арочный мост из трубобетона в г. Каменск-Уральский Свердловской области
(Источник: <http://surl.li/sjifrv>).

Большое развитие получило применение трубобетона в Китайской Народной Республике. Китайские инженеры, в результате выполнения необходимого комплекса исследовательских работ в области изучения конструкции и технологии строительства арочных мостов из трубобетонных элементов, достигли большого успеха в строительстве таких мостов. В течение последних 30 лет в Китае было построено более 400 СТБ арочных мостов (**Zheng & Wang, 2018**). Кроме того, развитие мостостроения с применением трубобетона там и в настоящее время продолжается бурными темпами (**Рисунок 2**).

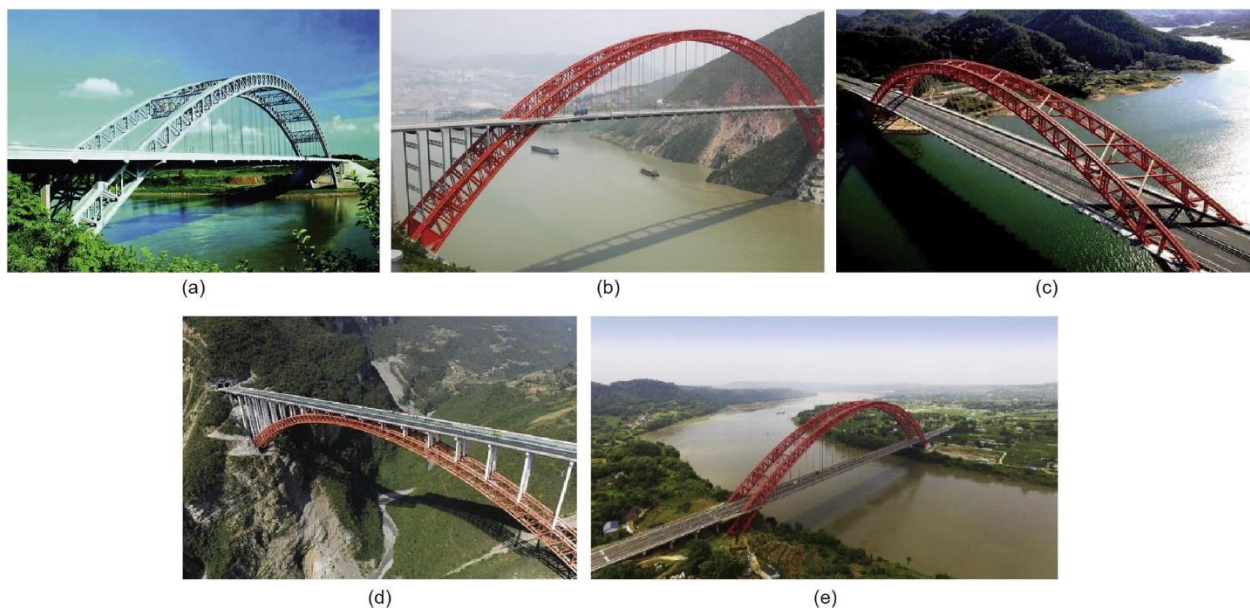


Рисунок 2 – Мосты из трубобетона в Китае (Zheng & Wang, 2018): (a) мост через р. Юн в провинции Гуанси (главный пролёт 270 метров, строительство завершено в 1998 году); (b) мост через р. Янцзы в г. Ухань (пролёт 460 метров, построен в 2005 году); (c) мост через озеро Тайпин в провинции Аньхой (главный пролёт 352 м, построен в 2007 году); (d) мост через р. Чжицзин на автомагистрали Хуронси (главный пролёт 430 м, построен в 2009 году); (e) Первый мост через р. Янцзы в провинции Хэйцзян (главный пролёт 430 м, построен в 2009 году).

2 ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА СТРОИТЕЛЬСТВЕ СТБ МОСТОВ

«Третий» мост в уезде Пиннань через р. Сюнь с рекордной для всего мира длиной пролёта в 575 метров построен в 2020 году провинции Гуанси (Zheng et al., 2021) (Рисунок 3). Мост представляет собой арку решётчатой конструкции из сталетрубобетонных элементов с ездой посередине.

Строительство моста выполнено с использованием комплекса инновационных организационных и технологических решений, включая следующие:

- взаимная увязка процесса проектирования и заводского изготовления деталей с целью ускорения навесной сборки металлических конструкций фермы главной арки;

- использование технологической системы контроля усилий и перемещений вспомогательных монтажных мачт, а также системы оптимального распределения усилий при одновременном натяжении кабелей подвесок с использованием навигационной спутниковой системы BeiDou (BDS);

- применение технологии вакуумного бетонирования для повышения эффективности заполнения труб бетонной смесью в комплексе с использованием специальных безусадочных составов с увеличенным сроком начала схватывания – такой подход принципиально разрешает проблему присущего трубобетону недостатка, ограничивающего его применение в мостостроении, который заключается в возможном отслоении бетонного ядра от стенки трубы при усадке бетонной смеси;

- сооружение северной опоры моста на фундаменте нового типа, состоящем из цементированного массива галечного грунта, заключённого в железобетонную обойму, выполненную по технологии «стена в грунте»;

- использование новейших подходов в организации строительства моста, заключающихся в объединении информационных технологий, результатов научных исследований и богатого опыта строительства подобных большепролётных объектов.



Рисунок 3 –Мост через р. Сюнь в уезде Пиннань провинции Гуанси с рекордной, на сегодняшний день, длиной пролёта в 575 метров построен в 2020 году.

Длины пролётов мостов с решётчатой аркой из трубобетонных элементов на новых объектах постоянно продолжают увеличиваться, поскольку эта технология, является более перспективной даже по сравнению с обычным железобетоном, который используется для строительства уникальных мостов – примеров выдающихся достижений мостостроения мирового уровня. Так, на дату издания статьи Цзилиань Чжэн и Цзяньцзюнь Ван (2018 г.) (Zheng & Wang, 2018), в мире насчитывалось всего четыре железобетонных арочных моста с пролётом более 400 метров. Все эти мосты построены в Китае, причём три из них запущены в эксплуатацию в 2016 году (Рисунок 4).

Первый в Китае арочный мост из СТБ элементов был построен в 1990 году через р. Дон (Dong) в уезде Ванцан провинции Сычуань (Zheng & Wang, 2018). С того времени, около 18 мостов аналогичной конструкции возводится в КНР ежегодно. Таким образом, по данным на 2016 год, в Китае было построено более 400 арочных СТБ мостов, из них 54 имеют пролёт более 200 метров, 11 – пролёт более 300 метров и четыре моста имеют главный пролёт более 400 метров и ещё три таких моста находились в процессе строительства на дату выхода статьи (Zheng & Wang, 2018).

3 ОБЗОР МЕТОДОВ МОНТАЖА ПРОЛЁТНЫХ СТРОЕНИЙ БОЛЬШЕПРОЛЁТНЫХ СТБ МОСТОВ

Интерес представляют не только общие технические параметры рассмотренных объектов, но и технологические приёмы, применяемые китайскими коллегами для строительства этих мостов, их рассматривают Цзилиань Чжэн и Цзяньцзюнь Ван в статье (Zheng & Wang, 2018). Наиболее важным и ответственным этапом при строительстве таких мостов является возведение решётчатой арочной конструкции из стальных труб. Для этого

применяются, в основном, три метода: навесная сборка с использованием вспомогательных вантовых систем, поворот конструкции и подъём предварительно укрупнённых блоков.

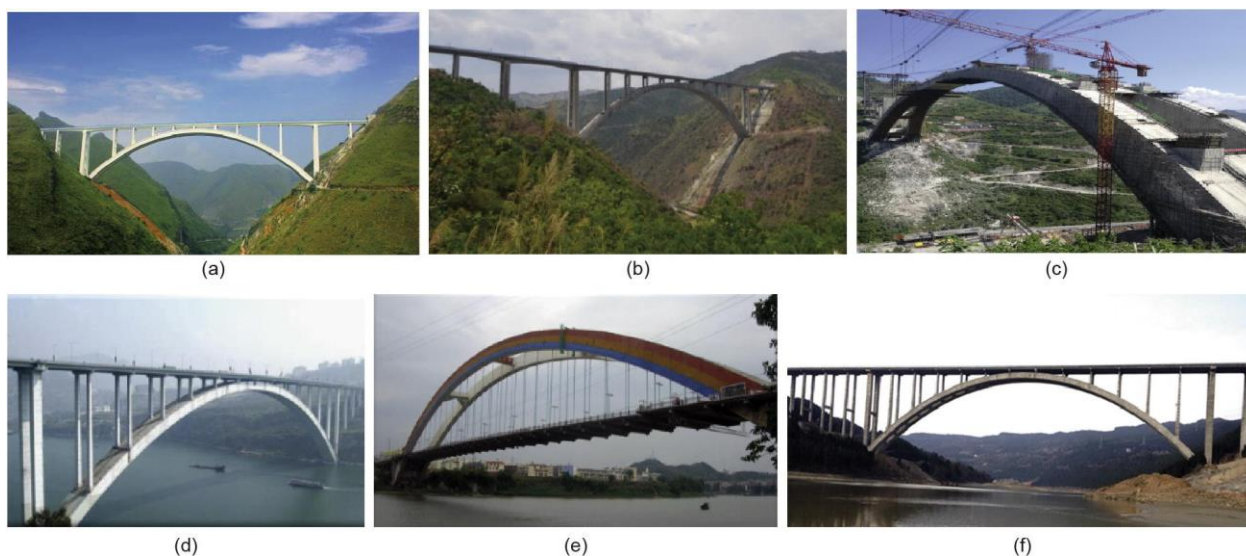


Рисунок 4 – Мосты из железобетона в Китае (Zheng & Wang, 2018): (a) мост через р. Бейпан на перегоне высокоскоростной железной дороги Шанхай – Куньмин (главный пролёт 445 м, построен в 2016 г.); (b) железнодорожный мост через р. Нанпан на перегоне Юньнань – Гуанси (главный пролёт 416 м, построен в 2016 г.); (c) мост через р. Йеланг на перегоне высокоскоростной железной дороги Чунцин – Гуйчжоу (главный пролёт 370 м, построен в 2016 г.); (d) мост через р. Янцзы в городе Вэньчжоу (главный пролёт 420 м, построен в 1997 г.); (e) мост через р. Юн в г. Юннин, провинция Гуанси (главный пролёт 312 м, построен в 1996 г.); (f) мост через р. Цзялин в районе Чжаохуа (главный пролёт 364 м, построен в 2012 г.)

3.1 НАВЕСНАЯ СБОРКА

В 1968 году китайские инженеры (Zheng & Wang, 2018) разработали технологию, использующую метод навесной сборки с замыканием последней секции посредством ослабления вспомогательных стальных вант, удерживающих возводимую арку в процессе сборки. Этот метод впервые позволил отказаться от строительства временных опор в пределах возводимого пролёта и обеспечил безопасность и технологичность навесной сборки пролётного строения арки пролётом около 100 метров, разделённой на пять монтажных элементов (марок). Этот же метод, с учётом развития технологии, используется и в настоящее время, он был применён на строительстве «Третьего» моста в уезде Пиннань через р. Сюнь, запущенном в эксплуатацию в 2020 году.

Суть рассматриваемого способа заключается в следующем. Арка возводится с двух сторон навесным методом. Для удержания половинок арки устраивается система временных пилонов и вант, закреплённых одним концом на берегу, а другим на арке. Система временных пилонов и вант, кроме её основного назначения, служит также ещё и опорой для кабельных кранов, осуществляющих подъём монтажных марок. Такой подход сделал возможным возведение арочных мостов без необходимости сооружения временных устройств, поддерживающих в процессе монтажа арку снизу, для которых, в свою очередь, требуются опоры в пределах пересекаемого препятствия, что само по себе зачастую является довольно сложной задачей, решаемой за счёт серьёзных затрат времени, труда и материалов, не говоря уже о влиянии на окружающую среду.

Благодаря простоте системы подвесов и высокой экономической эффективности, стоимость строительства моста с решётчатой аркой из СТБ элементов с пролётом 100 метров эквивалентна стоимости обычного железобетонного балочного моста с пролётом 30 метров (Zheng & Wang, 2018). Такой метод использовался для строительства и других арочных мостов, количество которых превышает 1000. Ярким примером применения этой технологии

является мост Цзюцзичжоу через реку Сян в городском округе Чанша, который был построен в 1972 году, имеет общую длину 1250 метров и пролёты по 76 метров.

В 1994 году была разработана технология замыкания пролёта с использованием навесной консольной сборки на временных вантах с установкой замкового блока и последующим ослаблением поддерживающих вант. Этот способ впервые был применён для сборки каркаса из стальных труб при строительстве арки с главным пролётом 312 метров. Для подачи и возврата в первоначальное положение стальных канатов использовался подъёмный домкрат, что позволило достичь точности в 1 мм. монтаж арки производится последовательно из готовых сегментов. Статическую геометрическую неизменяемость арки при монтаже таким способом можно достичь при наличии только трёх блоков, независимо от количества используемых сегментов, что делает этот метод применимым для монтажа мостов с пролётом более 100 метров. Данный способ применялся при строительстве сотен арочных мостов, включая такие знаменитые объекты, как мост через р. Лупу в Шанхае с главным пролётом 550 м, Первый мост через р. Янцзы в провинции Хэйцзян с пролётом 530 м, мост через р. Янцзы в городе Вэньчжоу с пролётом 420 м и мост через р. Бейпан на автостраде Шанхай – Куньмин с пролётом 445 метров. Эта технология использовалась также и при строительстве моста Фусин в г. Ханчжоу (**Рисунок 5**) (**Zheng & Wang, 2018**), при этом была достигнута высочайшая производительность монтажа – перекрытие одного пролёта выполнялось в течение двух дней, строительство же всего этого двухъярусного моста общей длиной 1376 метров и площадью 70 000 квадратных метров было завершено в течение двух лет.

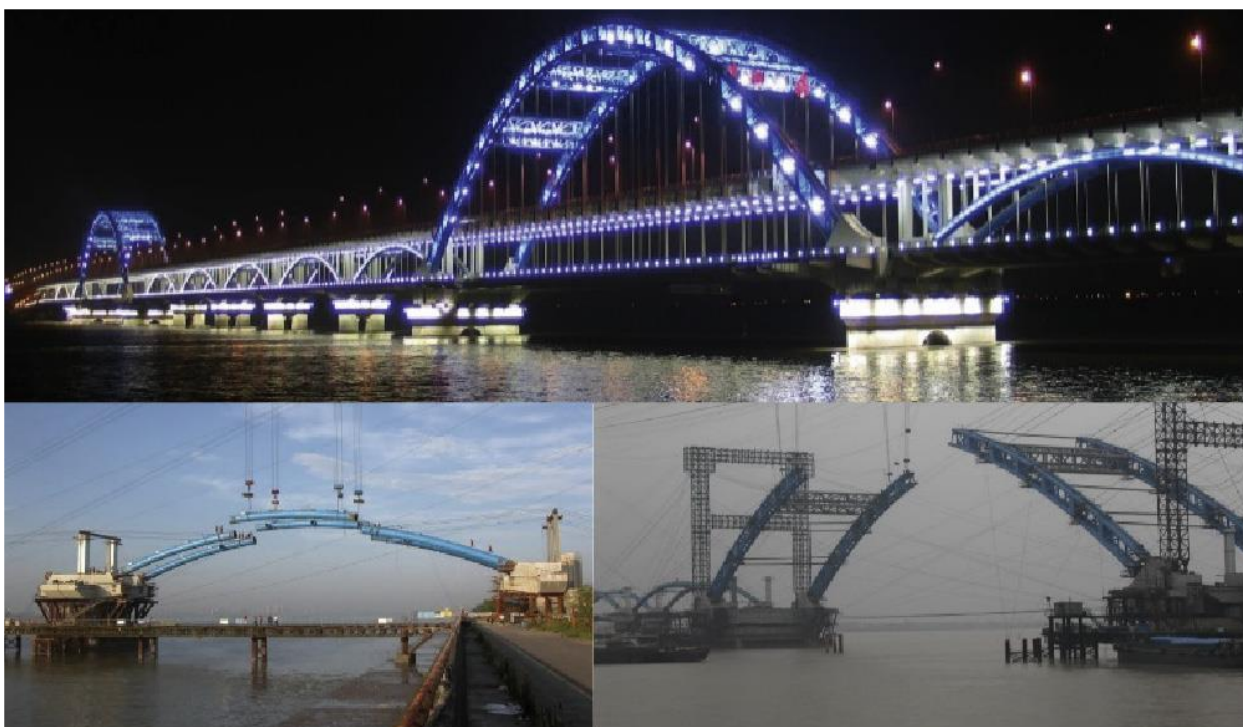


Рисунок 5 –Монтаж моста Фусин в г. Ханчжоу с использованием системы временных вант.

3.2 МОНТАЖ СПОСОБОМ ПОВОРОТА

Этот способ монтажа для строительства арочных мостов был освоен китайскими инженерами в 1977 году, при этом выполняется поворот пролётного строения в горизонтальной или в вертикальных плоскости (**Zheng & Wang, 2018**). До настоящего времени он применялся на строительстве более, чем 70 мостов. Типовым примером горизонтального поворота пролёта является железнодорожный мост через р. Бейпан на перегоне Гуйчжоу – Шуйбай (**Рисунок 6**). Мост выполнен из трубобетонной арки с ездой поверху, пролёт составляет 236 метров, высота над уровнем реки – 275 метров, построен в

2001 году. Этот способ имеет преимущество в том, что он обеспечивает возведение объекта, совершенно независимо от состояния подмостового пространства, не изменяет статическую схему сооружения в процессе поворота и обеспечивает высокий уровень безопасности производства работ. Однако, существенным недостатком этого способа является высокий уровень затрат на сооружение временного поворотного стола, что препятствует его широкому применению, особенно для строительства мостов с большими пролётами.



Рисунок 6 – Железнодорожный мост через р. Бейпан на железнодорожном перегоне Гуйчжоу – Шуйбай (Beipan River Shuibai Railway Bridge, 2001).

3.3 МОНТАЖ КРУПНЫМИ БЛОКАМ

Такой способ монтажа подразумевает использование плавучих средств и домкратов высокой грузоподъемности, он использовался на строительстве двух крупных объектов (Zheng & Wang, 2018), что в масштабе рассматриваемого числа объектов незначительно. Этот метод удобен тем, что минимизирует количество операций, выполняемых на высоте. Перераспределение напряжений в элементах фермы отдельного сегмента арки компенсируется установкой временных распорок или затяжек, это позволяет максимально увеличить длину подаваемого на монтаж сегмента. Увеличение массы поднимаемого сегмента решается увеличением количества подъемных домкратов. Цзилиань Чжэн и Цзяньцзюнь Ван (Zheng & Wang, 2018) считают этот метод очень перспективным, по их мнению, он позволит ещё больше увеличить пролёт возводимых СТБ мостов.

4 ТЕХНОЛОГИЯ БЕТОНИРОВАНИЯ СТБ КОНСТРУКЦИЙ МОСТА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ БЕТОНА И СТАЛЬНОЙ ТРУБЫ

Несущая способность СТБ элементов арок моста зависит от взаимодействия между стальной трубой и заключённого в ней бетонного ядра. Множество исследований, в том числе и экспериментальных, было посвящено изучению природы касательной сила сцепления на

границе материалов внутри СТБ элемента. При этом было установлено (Zheng & Wang, 2018), что она состоит из четырёх компонентов: химические силы межмолекулярного взаимодействия, механические силы трения покоя и трения скольжения, причём силу трения покоя, в свою очередь, Цицилиань Чжэн и Цзяньцзюнь Ван разделяют на две составляющих: для малых перемещений – «механическую» (*mechanical bite force*) и для больших перемещений – «макроскопическую» (*macroscopic bite force*). Так, самыми слабыми из рассматриваемых сил являются силы химического взаимодействия – они исчезают уже при начальных стадиях сдвига, возникающих при действии малейших растягивающих напряжений. Силы трения скольжения и трения покоя (макроскопическая) проявляются только при больших значениях относительного проскальзывания компонентов СТБ элемента. Механические силы трения покоя проявляются, начиная с малых перемещений и действуют до начала работы сил трения скольжения. Отслоение бетона от стальной трубы внутри СТБ элемента оказывает существенное влияние на силу сцепления и местную устойчивость стенки стальной трубы. Для предупреждения этого дефекта необходимо решение двух следующих задач: первая – гарантировать отсутствие воздушных полостей при бетонировании трубы, и вторая – обеспечить баланс параметров расширения и усадки бетонной смеси не только при наборе прочности, но и на протяжении всего жизненного цикла сооружения.

При приготовлении бетонной смеси необходимо соблюдение двух существенных условий. Первое – обеспечение требуемой подвижности и устойчивости смеси против её расслоения для обеспечения укладки без необходимости уплотнения. Второе – придание при этом безусадочных бетону свойств на протяжении всего периода эксплуатации. Необходимая подвижность и устойчивость бетонной смеси достигается контролем толщины водной плёнки, а также сцепления и трения на межфазных поверхностях её компонентов. Усадка бетона исключается применением добавок, компенсирующих деформацию усадки и изменение внутренней структуры цементного камня на химическом уровне, а также применений специальной технологии ухода за бетоном. При этом, в готовом элементе возникают небольшие сжимающие напряжения, поэтому на стадии проектирования должно быть предусмотрено наличие этих начальных напряжений.

Процесс укладки бетонной смеси в своём развитии прошёл несколько стадий: заливка нижележащих отсеков с подачей смеси сверху, закачивание смеси снизу-вверх и метод вакуумирования, который является наиболее современным и гарантирует качество укладки смеси в трубу. Этот метод был экспериментально проверен на натуральных моделях СТБ элементов в процессе подготовки к строительству Первого моста через р. Янцзы в провинции Хэйцзян. Испытания подтвердили, что заполнение труб методом вакуумирования с отрицательным давлением величиной от 0,07 до 0,09 МПа в сочетании с подачей раствора под давлением снизу позволяет достичь лучших результатов, по сравнению с традиционным способом. Длина каждого трубчатого пояса фермы арки приблизительно 600 метров, для её заполнения требуется около 800 м³ бетона класса С60. Бетонная смесь на весь отсек (представляющий одну захватку) подаётся непрерывно, с выделением трёх ярусов, что позволяет сократить время, в течение которого необходимо обеспечивать задержку начала схватывания смеси, а также уменьшить рабочее давление применяемых бетонных насосов (Рисунок 7). Количество уровней зависит от объёма захватки и доступных на площадке производственных мощностей. Постоянно изменяющиеся по мере заполнения бетонной смесью отклонения свода арки компенсируются натяжением системы временных вант. Для заполнения одного трубчатого пояса арки обычно требовалось 12 часов и процесс бетонирования всех восьми поясов главной арки занял 33 дня. В течение трёх дней была выполнена ультразвуковая дефектоскопия сплошности бетона во всех 144 фланцевых стыках. Исследование показало, что 100% проверенных стыков соответствуют требованиям норм и них 92% – безупречного качества, что подтверждает надёжность принятой технологии.

Разработка технологии вакуумного бетонирования позволяет преодолеть некоторые сложности, препятствующие применению СТБ в мостостроении. С применением этой технологии в 2013 году был построен Первый мост через р. Янцзы в провинции Хэйцзян с

рекордным среди сталетрубобетонных арок пролётом 530 метров. Общая стоимость строительства составила 260 млн. юаней, что на дату написания настоящей статьи составляет около 2,8 млрд. рублей. Это существенно ниже стоимости традиционных мостов с аналогичными параметрами. Например, стоимость строительства Второго моста через р. Янцзы в провинции Хэйцзян с главным пролётом 420 метров оказалась на 100 млн. юаней выше при той же продолжительности строительства.

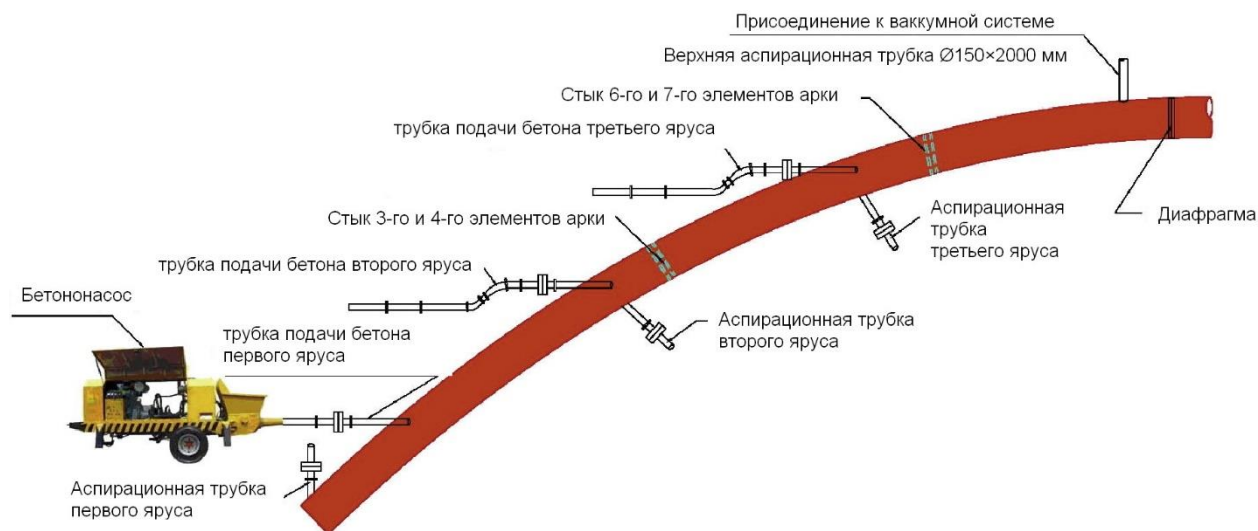


Рисунок 7 –Схема непрерывного вакуумного бетонирования захватки с разделением её на три яруса (Zheng & Wang, 2018).

4.1 ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ И МЕТОДОВ СТРОИТЕЛЬСТВА СТБ АРОК С ЗАТЯЖКОЙ

С учётом рассмотренных примеров строительства мостов из СТБ арок больших пролётов, учитывая эффективность материала, доступность и сравнительную простоту технологий, а также привлекательную стоимость строительства, представляет интерес вопрос возможности использования имеющихся достижений для строительства мостов меньших пролётов, а особенно малых мостов

Мост с относительно небольшим пролётом, но при этом обладающий сравнительно простой конструкцией рассмотрен в статье Бао-чан Чен и др. о применении СТБ для строительства арочных мостов с обзором результатов экспериментов по определению предельной нагрузки для арок не только решётчатой конструкции, но и сплошного сечения (Chen et al., 2004). На основании результатов исследований, им был разработан проект арочного трубобетонного моста Куньи в городе Фуан провинции Фуцзянь.

Мост представляет собой арку с ездой посередине. Главный пролёт арки составляет 46 метров, стрела подъёма принята 1/3, что составляет 15,3 метра. Фасад моста показан на Рисунок 8. Пояс арки выполнен из одиночной стальной трубы диаметром 800 мм с толщиной стенки 14 мм, заполненной бетоном класса С30. Параллельные пояса арки связаны двумя горизонтальными поперечными связями из одиночных стальных труб, установленными в области свода, а также двумя железобетонными поперечными балками с раскосами из стальных труб – в основании арки.

Габарит автомобильного проезда по ширине составляет 12 метров, с двух сторон от него размещены тротуары шириной 1,5 метра каждый. Проезжая часть моста выполнена из железобетонных плит пролётом 4 метра и толщиной 200 мм, опирающихся на систему продольных и поперечных балок. Продольные балки соединяются с верхней частью арки подвесками из труб Ø109×5 мм, выполненными из высокопрочной стали. Надарочные стойки

выполнены из железобетона. Мост был запущен в эксплуатацию в июле 1998 года, строительство начато в 1996 году.

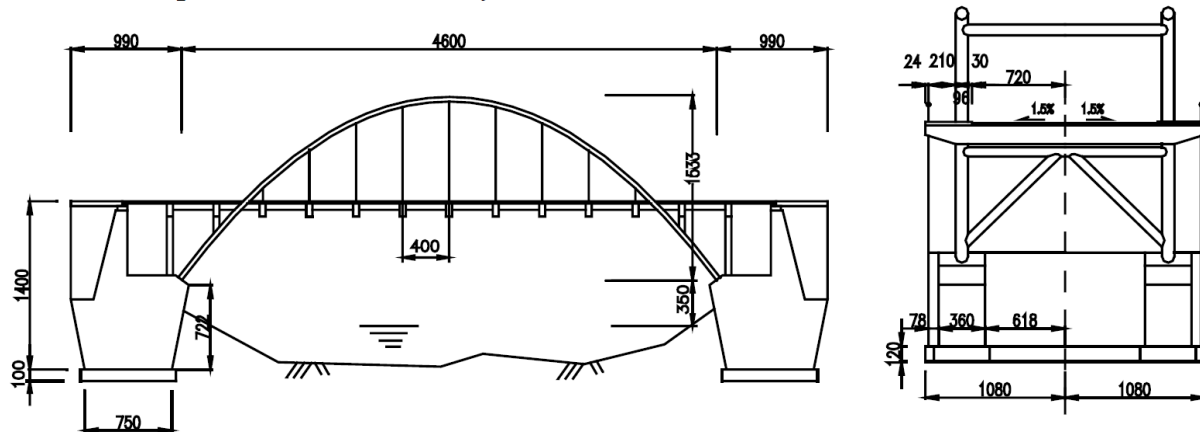


Рисунок 8 –Чертёж моста Куньи в городе Фуан провинции Фуцзянь, размеры указаны в сантиметрах (Zheng, 2021).

Для строительства арочных мостов на равнинных территориях обычно применяются арки с ездой понизу, при этом продольная балка проезжей части моста зачастую используется в качестве затяжки, что существенно повышает эффективность конструкции и позволяет исключить действие распора на устои моста. Конструкция и объём фундаментов моста сильно упрощается, что положительным образом сказывается на их стоимости и стоимости сооружения в целом. Кроме того, в этом случае возможно размещение моста в грунтах, к которым не предъявляются высокие требования по прочности и деформативности, т.к. арочные мосты без затяжки строятся преимущественно на скальном основании, множество примеров таких мостов было рассмотрено в начале настоящей статьи.

Сложность в строительстве арочных мостов с затяжкой в уровне проезжей части связана с тем, что при возведении моста до замыкания всей конструкции (системы затяжек и подвесов) горизонтальный распор воспринимается только фундаментами. Поэтому длина пролёта при строительстве мостов такой конструкции обычно ограничивается величиной 100 метров.

Один из таких мостов – Второй мост через реку Хуанхэ в городе Чжэнчжоу (Chen et al., 2004) (Рисунок 9). Мост состоит из двух параллельных независимых частей и обеспечивает пропуск автотранспорта по четыре полосы в каждом направлении – по четыре на каждой из частей.



Рисунок 9 –Строительство Второго моста через реку Хуанхэ в Чжэнчжоу (Zhang et al., 2004).

Русловая часть моста перекрыта восемью одинаковыми 100-метровыми пролётами (по осям опор), пролёт каждой арки составляет 95,5 метра. Стрела подъёма арок составляет $1/4,5$; ось арки описывается кантернарной кривой с параметром $a = -1,347$. Расстояние по осям арок вдоль моста составляет 22,377 метра, жёсткость конструкции в поперечном направлении обеспечивается установкой в каждой арке трёх поперечных связей из полых стальных труб: одной прямой и двух с К-образными подкосами (Рисунок 10).



Рисунок 10 – Конструкция Второго моста через реку Хуанхэ в Чжэнчжоу. Размеры на фасаде указаны в см, на сечении – в мм (Zhang et al., 2004).

Профиль каждой арки представляет собой составное (гантелеобразное) сечение из двух СТБ элементов с жёсткими вставками из стальных двутавров. Такая конструкция арок обеспечивает более высокую жёсткость сечения на изгиб по сравнению с одиночной трубой и при этом она проще в изготовлении и придаёт более лаконичный внешний вид сооружению по сравнению с решётчатой конструкцией фермы. Обычно такое решение применяется для перекрытия пролётов от 60 до 120 метров.

Центры труб в сечении пояса рассматриваемого моста разнесены на расстояние 1400 мм по высоте, вертикальный габарит сечения составляет 2400 мм, обе трубы заполнены бетоном С50. Обычно, диаметры D применяемых труб находятся в интервале от 150 до 1500 мм, в большинстве случаев – это 750 – 900 мм, просвет между трубами L назначается из определения соотношения D/L в пределах от $1/60$ до $1/150$. Общая высота сечения пояса H , таким образом, составляет от 1200 до 2000 мм, соотношение H/L – от $1/30$ до $1/60$ и D/L – от $1/2,11$ до $1/2,67$ (обычно, $1/2,5$). Толщина стенки стальной трубы – от 8 до 16 мм, в основном – 10 мм. В общем случае, соотношения D/L и H/L уменьшаются с увеличением пролёта арки. Подвески выполнены из высокопрочных стальных канатов, защищённых двухслойным покрытием из полиэтилена. Продольная балка проезжей части, используемая в качестве затяжки, выполнена в виде предварительно напряжённой железобетонной балки коробчатого сечения с размерами 2 м шириной и 2,75 м высотой. Каждое пролётное строение опирается на четыре резиновые опорные части грузоподъёмностью по 1750 тонн (Chen et al., 2004). Строительство моста завершено в 2004 году.

Несмотря на признанную эффективность работы труботетонных элементов на сжатие, работа труботетона на изгиб исследована гораздо меньше. Однако, имеющиеся в этой области работы свидетельствуют о перспективности этого направления и необходимости проведения дальнейших теоретических и экспериментальных исследований (Astankov & Ovchinnikov, 2021).

4.2 СОВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ АРКИ НА ИЗГИБ В СРАВНЕНИИ С ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТОЙ СТОЙКОЙ

О результатах исследований, выполняющихся в направлении исследования работы изгибаемой труботонной арки в 2023 году опубликована работа Шаоруи Ван (**Wang et al., 2023**). В статье рассматривается фактическая, наиболее приближенная к реальной, механика работы арочного изгибаемого СТБ элемента по схеме изгибаемой арки в отличие от общепринятой в нормах схемы работы элемента арки как внецентренно сжатого стержня.

Для возможности анализа фактического напряжённо-деформированного состояния, моделей разрушения элементов, а также изгибающего момента с учётом его геометрической нелинейности, была проведена серия натурных испытаний СТБ арок и выполнено сопоставление их результатов с данными, полученными в результате расчётов по традиционной модели внецентренно сжатого элемента.

Результаты экспериментов (**Wang et al., 2023**) показали, что распределение воздействие внешних сил, вызывающих изгиб арки, производит в ней внутренние усилия в виде изгибающего момента, поперечной и продольной сил, вызывающих, в свою очередь, в опоре вертикальную реакцию и отпор. При этом, во внецентренно сжатой колонне возникает только вертикальная реакция в основании и изгиб, вызываемый эксцентриситетом прикладываемой продольной силы (**Рисунок 11**).

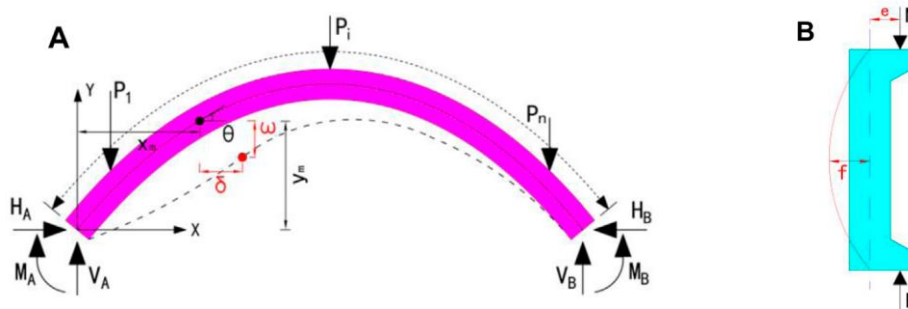


Рисунок 11 – Усилия в элементе в зависимости от принятой модели расчёта: А – при расчёте по схеме изгибаемой арки, В – по схеме внецентренно сжатого стержня (**Wang et al., 2023**).

Стадии деформирования изгибаемой арки, в основном, совпадают со схемой внецентренно сжатой колонны. Однако, модели разрушения в рассмотренных схемах существенно различаются. Так, изгибаемая арка разрушается с образованием пластических шарниров в четырёх точках, а внецентренно сжатая колонна – с образованием шарнира в одной точке. При расчёте элемента по модели внецентренно сжатой колонны деформационная способность изгибаемой арки выше искусственно занижается.

Теоретические значения изгибающего момента, определяемого с учётом геометрической нелинейности, в обоих случаях совпадают. Способ определения значений этого момента в расчётном сечении с использованием эксцентриситета является надёжным, но даёт несколько заниженные результаты, при этом, недостаточно изучено влияние геометрической нелинейности на величину момента в других сечениях. Таким образом, основные различия рассматриваемых моделей заключаются в схемах распределения и путях передачи усилий, а также причинах возникновения деформаций (**Storozhenko et al., 1994**).

Сфера применения труботонных элементов, испытывающих поперечный изгиб, представляется очень обширной и может охватывать почти все случаи применения балок небольших пролётов. Известно, что для строительства малых мостов с пролётами до 40 метров эффективно применение арочной засыпной конструкции. Такой подход позволяет вдвое сократить стоимость строительства и на 30-40% снизить затраты на материалы (**Drobyshevsky, 2020**). Рассмотренные выше примеры применения труботонных конструкций с учётом их

способности эффективно работать не только на внецентренное сжатие, но и на изгиб, позволяют рассматривать их в качестве основных несущих конструкций арок при строительстве малых грунтозасыпных мостов. К настоящему времени разработан ряд оригинальных технических решений для повышения эффективности изгибаемых трубобетонных элементов (Moiseev et al., 2016; Ovchinnikov et al., 2016; Moiseev et al.; 2016a, Ovchinnikov et al., 2019) однако, в основном, балочных. Поэтому большой интерес представляет исследование возможности применения трубобетона для устройства арок малых пролётов при строительстве грунтозасыпных мостов.

5 ВЫВОДЫ

Высокая степень надёжности конструкций из трубобетона и их способность длительное время выдерживать нагрузку после начала разрушения (на стадии пластической работы трубобетонного элемента – при разрушении сжатого бетонного ядра) хорошо влияет на повышение общей живучести сооружения, что является обязательным требованием СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы» – обеспечение прочности и устойчивости формы и положения остальных элементов при выходе из строя отдельных конструктивных элементов.

Кроме того, использование трубобетонных конструкций для строительства малых засыпных арочных мостов является особенно перспективным в районах, удалённых от предприятий стройиндустрии, с малоразвитой сетью автомобильных дорог, что очень важно для быстрого строительства или восстановления сообщений, из-за отсутствия необходимости транспортировки крупногабаритных и массивных строительных мостовых конструкций и необходимой для их монтажа тяжёлой техники.

Развитие теоретических методов расчёта изгибаемых арок, основанных на результатах экспериментов и опытно-конструкторских работ, является перспективным направлением исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Zheng J., Wang J.** (2018). Concrete-Filled Steel Tube Arch Bridges in China. *Engineering*, 4, 143–155. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2017.12.003>
2. **Krishan A.L.** (2011). Strength of tubular concrete columns with a pre-compressed core [Prochnost' trubobetonnyh kolonn s predvaritel'no obzhatym yadrom]. Abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. Rostov-on-Don: Rostov State University of Construction, 38. (In Russ.)
3. **Storozhenko L.I., Efimenko V. I., Plakhotny P.I.** (1994). Bendable tubular concrete structures [Izgibaemye trubobetonnye konstrukcii]. Kiev: Budivelnik, 104. (In Russ.)
4. **Zheng J., Du H., Mu T., Liu J., Qin D., Mei G., Tu B.** (2021). Innovations in design, construction, and management of Pingnan Third Bridge—the largest-span arch bridge in the world. *Structural Engineering International*, 32 (2), 134-141. <https://doi.org/10.1080/10168664.2021.1956399>
5. **Beipan River Shuibai Railway Bridge.** (2001). Retrieved from: https://ru.abcdef.wiki/wiki/Beipan_River_Shuibai_Railway_Bridge
6. **Chen B.C., Chen Y.J., Qin Z.B., Hikosaka H.** (2004). Application of concrete filled steel tubular arch bridges and study on ultimate load-carrying capacity. *Arch Bridges ARCH'04* P. Roca and E. Oñate (Eds). CIMNE, Barcelona. <http://surl.li/uqghrr>

7. **Zhang W.Z., Chen B.C., Huang W.J.** (2004). Design of the second highway bridge over Yellow River in Zhengzhou, China. Arch Bridges ARCH'04 P. Roca and E. Oñate (Eds). CIMNE, Barcelona. <http://surl.li/lawtgz>
8. **Astankov K. Y., Ovchinnikov I.G.** (2021). Prospects for the use of tubular concrete structures for the construction of small arch bridges [Perspektivy primeneniya trubobetonnyh konstrukcij dlya stroitel'stva malyh arochnyh mostov]. Traditions, modern problems and prospects for the development of construction: collection of scientific articles. Grodno: GrGU, 271. (In Russ.)
9. **Wang S., Li Y., Liu Z., Cheng T.** (2023). Calculation model of concrete-filled steel tube arch bridges based on the «arch effect». *Frontiers in Materials*, 9:1084999. <https://doi.org/10.3389/fmats.2022.1084999>
10. **Drobyshevsky B.A.** (2020). Small Bridges: a monograph [Malye mosty: monografiya] Moscow: INFRA-M, p. 228 - (Scientific thought). Retrieved from: <https://znanium.com/catalog/product/990005>
11. **Moiseev O.Y., Paryshev D.N., Ovchinnikov I.G., Kharin V.V., Ovchinnikov I.I.** (2016). Tubular concrete beams with a partially prestressed concrete core for spans of small bridges [Trubobetonnye balki s chastichno predvaritel'no napryazhennym betonnym yadrom dlya proletnyh stroenij malyh mostov]. Modernization and scientific research in transport construction. Materials of the international scientific and practical conference (pp. 283-288) Perm: PNRPU Publishing House. (In Russ.)
12. **Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Moiseev, O.Yu., Paryshev D.N., Kharin V.V.** (2016). Improving the efficiency of tubular concrete beams for bridge spans using prestressing [Povyshenie effektivnosti trubobetonnyh balok dlya proletnyh stroenij mostov primeneniem predvaritel'nogo napryazheniya]. V.V. Minin (Ed.) Transport systems of Siberia. The development of the transport system as a catalyst for the growth of the state's economy. International scientific and practical conference: collection of scientific papers: part 1 (pp.147 – 150). Krasnoyarsk: Sib. Feder. Univ. (In Russ.)
13. **Moiseev O.Y., Paryshev D.N., Ovchinnikov I.G., Kharin V.V., Ovchinnikov I.I.** (2016). Innovative tubular concrete beam for spans of small girder bridges [Innovacionnaya trubobetonnaya balka dlya proletnyh stroenij balochnyh malyh mostov]. Innovative transport Scientific and journalistic publication. No. 2(20), 67-71. (In Russ.)
14. **Ovchinnikov I.G., D.N. Paryshev, A.V. Iltyakov, O.Y. Moiseev, V.V. Kharin, I.P. Popov, D.A. Kharin.** (2019). Increasing the load capacity of a tubular concrete beam [Povyshenie nagruzochnoj sposobnosti trubobetonnoj balki]. TRANSPORT. TRANSPORT FACILITIES. ECOLOGY, PNRPU, No. 4, 58-66. (In Russ.)

UDC 666.3-16
IRSTI 67.09.05
REVIEW ARTICLE

MECHANICAL PROPERTIES OF POROUS SILICON CARBIDE CERAMICS: A REVIEW

S. Kultayeva* 

International Educational Corporation, Almaty, 050028, Kazakhstan

Abstract. *Porous silicon carbide (SiC)-based ceramics exhibit exceptional structural and functional properties, such as excellent mechanical, chemical, and thermal stability, and controlled electrical resistivity. Owing to their superior properties, porous SiC ceramics are suitable for various industrial applications, including heatable filters, heating elements, thermoelectric energy converters, fusion reactors, thermal insulators, water purifiers, molten metal and hot gas filters, diesel particulate filters, membrane supports, and catalyst supports. A deeper understanding of the mechanical properties of porous SiC ceramics, coupled with the development of new strategies for tuning these properties, will enable the realization of numerous new applications. In this review, important factors known to determine the mechanical strength of porous SiC ceramics, such as microstructures (necking area) and pore characteristics (porosity, pore size), have been analyzed. With increasing porosity and pore size of porous SiC ceramics, the flexural strength tends to decrease. The flexural strength increases with decreasing pore size at a constant porosity, whereas the flexural strength decreases with increasing porosity at a constant pore size. In addition, the flexural strength of porous SiC ceramics is primarily influenced by the developed necking area between SiC grains, which can be obtained through the doping of soluble atoms into the SiC lattice. Based on these critical factors affecting the mechanical properties, a novel strategy for tuning the flexural strength of porous SiC ceramics is proposed.*

Keywords: *SiC ceramic, porosity, pore size, necking area, mechanical properties.*

***Corresponding author**

Shynar Kultayeva, email: sh.kultayeva@mok.kz

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-08>

Received 25 December 2023; Revised 26 January 2024; Accepted 12 February 2024.

ӘОЖ 666.3-16
FTAMP 67.09.05
ШОЛУ МАҚАЛАСЫ

КЕУЕКТІ КРЕМНИЙ КАРБИДИ КЕРАМИКАСЫНЫҢ МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ

Ш.М. Құлтаева* 

Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, 050028, Қазақстан

Аңдатпа. Кремний карбиді (SiC) негізіндегі кеуекті керамика жоғары механикалық, химиялық және термиялық тұрақтылық, сондай-ақ бақыланбалы электр кедергісі сияқты ерекше құрылымдық және функционалдық қасиеттерге ие. Аталған ерекше қасиеттеріне байланысты SiC кеуекті керамикасы әртүрлі өнеркәсіптік қолданбаларға, соның ішінде жылытылатын сүзгілерге, қыздыру элементтеріне, термоэлектрлік энергия түрлендіргіштеріне, термоядролық реакторларға, жылу оқшаулағыштарына, су тазартқыштарға, балқытылған металл және ыстық газ сүзгілеріне, дизель отынына арналған бөлшек сүзгілерге, мембраналық субстраттарға және катализаторларға жарамды. Кеуекті SiC керамикасының механикалық қасиеттерін тереңірек түсіну, осы қасиеттерді теңшеудің жаңа стратегияларын әзірлеу, көптеген жаңа қолдану аяларын жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Бұл шолуда кеуекті SiC керамикасының механикалық беріктігін анықтайтын маңызды факторлар, мысалы, микроқұрылым (байланыс аймағы) және кеуек сипаттамалары (кеуектілік, кеуек өлшемі) талданды. Кеуекті SiC керамикасының кеуектілік пен кеуектің өлшемі ұлғайған сайын иілу беріктігі төмендейді. Иілу беріктігі тұрақты кеуектілік кезінде кеуек өлшемінің төмендеуімен артады, ал тұрақты кеуек өлшемінде кеуектіліктің жоғарылауымен иілу беріктігі төмендейді. Сонымен қатар, кеуекті SiC керамикасының иілу беріктігіне ең алдымен SiC түйіршіктері арасындағы дамыған байланыс аймағы әсер етеді, оны SiC торына еритін атомдарды енгізу арқылы алуға болады. Механикалық қасиеттерге әсер ететін осы маңызды факторларға сүйене отырып, кеуекті SiC керамикасының иілу беріктігін реттеудің жаңа стратегиясы ұсынылды.

Түйін сөздер: SiC керамика, кеуектілік, кеуек өлшемі, байланыс аймағы, механикалық қасиеттері.

*Автор-корреспондент

Шынар Құлтаева, email: sh.kultayeva@mok.kz

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-08>

Алынды 25 желтоқсан 2023; Қайта қаралды 26 қаңтар 2024; Қабылданды 12 ақпан 2024.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРИСТОЙ КЕРАМИКИ ИЗ КАРБИДА КРЕМНИЯ

Ш.М. Култаева* 

Международная образовательная корпорация, Алматы, 050028, Казахстан

Аннотация. Пористая керамика на основе карбида кремния (SiC) обладает исключительными структурными и функциональными свойствами, такими как превосходная механическая, химическая и термическая стабильность, а также контролируемое электрическое сопротивление. Благодаря своим превосходным свойствам пористая керамика SiC подходит для различных промышленных применений, включая нагреваемые фильтры, нагревательные элементы, термоэлектрические преобразователи энергии, термоядерные реакторы, теплоизоляторы, водоочистители, фильтры для расплавленного металла и горячего газа, сажевые фильтры для дизельного топлива, мембранные подложки и катализаторы. Более глубокое понимание механических свойств пористой керамики SiC в сочетании с разработкой новых стратегий настройки этих свойств позволит реализовать множество новых применений. В этом обзоре были проанализированы важные факторы, которые, как известно, определяют механическую прочность пористой керамики SiC, такие как микроструктура (область соединения) и характеристики пор (пористость, размер пор). С увеличением пористости и размера пор пористой керамики SiC прочность на изгиб имеет тенденцию к снижению. Прочность на изгиб увеличивается с уменьшением размера пор при постоянной пористости, тогда как прочность на изгиб уменьшается с увеличением пористости при постоянном размере пор. Кроме того, на прочность пористой керамики SiC при изгибе в первую очередь влияет развитая область соединения между зёрнами SiC, которая может быть получена путем введения растворимых атомов в решетку SiC. Основываясь на этих критических факторах, влияющих на механические свойства, предложена новая стратегия настройки прочности пористой керамики SiC на изгиб.

Ключевые слова: SiC керамика, пористость, размер пор, область соединения, механические свойства.

*Автор-корреспондент

Шынар Култаева, email: sh.kultayeva@mok.kz

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-08>

Поступило 25 декабря 2023 г.; Пересмотрено 26 января 2024 г.; Принято 12 февраля 2024 г.

ACKNOWLEDGEMENTS/SOURCE OF FUNDING

The research was conducted with the financial support of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan within the framework of the scientific project IRN AP19174518 «Study of electrical, thermal, and mechanical properties of porous ceramic based on silicon carbide».

CONFLICT OF INTEREST

The authors state that there is no conflict of interest.

АЛҒЫС / ҚАРЖЫЛАНДЫРУ КӨЗІ

Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің ЖТН AP19174518 «Кремний карбиді негізіндегі кеуекті керамиканың электрлік, термиялық және механикалық қасиеттерін зерттеу» гранттық қаржыландыру шеңберінде жүргізілді.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

БЛАГОДАРНОСТИ/ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование проводилось в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан ИРН AP19174518 «Исследование электрических, термических и механических свойств пористой керамики на основе карбида кремния».

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

1 INTRODUCTION

Porous silicon carbide (SiC) ceramics are one of the most important advanced ceramic materials which have gained immense attention and have an important role in various industrial fields. Owing to their remarkable properties and versatility they have large potentials for both structural and functional applications ([Fukushima et al., 2008](#); [Ihle et al., 2006](#); [Fukushima et al., 2006](#); [Ohji & Fukushima, 2012](#); [Colombo P., 2008](#)). The unique combination of properties (e.g., excellent corrosion resistance, high fluid permeability, good chemical stabilities, excellent heat resistance, high thermal shock resistance, low thermal expansion coefficient, and excellent mechanical properties) make the porous SiC ceramic a potentially useful material for various advanced applications such as heatable filters, heating elements, thermoelectric energy converters, fusion reactors, thermal insulator, water and air purifier, filtration of molten metals and hot gases, diesel particulate filters, membrane supports, and catalyst supports ([Sandra et al., 2016](#); [Dey et al., 2013](#); [Zhou et al., 2011](#); [Eom et al., 2008](#); [Ferraro et al., 2018](#); [Durif et al., 2019](#); [Ding et al., 2006](#)).

The properties and performances of porous SiC ceramics, especially, mechanical properties are directly related to their microstructures, pore characteristics (e.g., porosity, pore size, and pore morphologies), and necking area. Gomez-Martin et al. ([Gomez-Martin et al., 2016](#)) reported that the compressive strength of biomorphic SiC ceramics decreased from 115 and to 3 MPa with an increase in porosity from 47 to 72%. The flexural strength of polysiloxane derived porous SiC ceramics decreased from 80 to 10 MPa as the porosity increased from 35% to 70% ([Eom et al., 2008](#)). To summarize, the strength of porous SiC ceramics decreases with an increase in porosity.

The effect of pore size on the strength of porous SiC ceramics was investigated by many researchers. Eom and Kim reported that with an increase of pore size both compressive and flexural strengths of porous SiC ceramics decreased at the same porosity ([Eom & Kim, 2008](#)). Hotta et al. reported similar results for porous SiC ceramics prepared by partial sintering technique ([Hotta et al., 2012](#)). The compressive strength of porous SiC ceramics increased by starting with smaller SiC particles, which led to a smaller pore size ([Rajpoot S., 2021](#)). In summary, the strength of porous SiC ceramics increases with a decrease in pore size at the equivalent porosity.

Wan & Wang ([Wan & Wang, 2018](#)) reported that the compressive strength of porous SiC ceramics increased from 47 MPa to 78 MPa by increasing the necking area between SiC grains at a similar porosity of 54% and 56%. The compressive strength of porous SiC ceramics dramatically increased from 122 to 513 MPa by increasing the bonding area (necking area) between SiC grains at a constant porosity of ~60% ([Fukushima et al.](#)). She et al. ([She et al., 2002](#)) reported that the well-developed necks between particles showed flexural strength up to 185 MPa and 88 MPa for porous SiC ceramics prepared from fine and coarse a-SiC powders, respectively. Similar results have been reported for oxidation bonded porous SiC ceramics ([Ding et al., 2006](#)), silica bonded porous SiC ceramics ([Kim et al., 2020](#)), and porous recrystallized SiC ceramics ([Zhang et al., 2020](#)). In summary, the strength of porous SiC ceramics increases with increasing bonding area (necking area) at the equivalent porosity.

The mechanical properties of porous SiC ceramics are fundamental to their performance across a broad range of applications. These properties ensure the materials can withstand various

stresses, maintain structural integrity, and provide reliable, long-lasting performance in demanding environments.

2 FACTORS AFFECTING FLEXURAL STRENGTH OF POROUS SiC CERAMICS

Studying the mechanical properties of porous SiC ceramics is essential for several reasons: (1) understanding the mechanical properties allows for the optimization of SiC ceramics for various applications, ensuring they meet specific performance requirements; (2) knowledge of mechanical properties aids in the selection of appropriate materials for specific applications, enhancing efficiency and functionality; (3) insights into mechanical properties facilitate better design and engineering of components, leading to improved reliability and durability; (4) continuous study fosters innovation in the development of new materials and applications, pushing the boundaries of current technology. Mechanical strength is crucial in various application fields of porous SiC ceramics such as aerospace and defense, automotive industry, energy sector, industrial processing, filters, catalysts, biomedical implants, electronics and semiconductors, chemical processing, environmental engineering. For aerospace and defense, automotive industry maintaining structural integrity under various loads is essential. Good mechanical properties ensure that components can withstand stress and avoid failure. In energy sector, electronics and semiconductors a high thermal stability is critical in high-temperature environments. Mechanical properties like strength and toughness at elevated temperatures ensure performance and reliability. Filtration systems for water and air purification in environmental engineering required structural integrity and long-term performance for effective filtration and environmental protection. High thermal conductivity and mechanical strength are critical for efficient heat dissipation and structural integrity in electronic substrates, heat sinks.

Understanding the mechanical properties of porous SiC ceramics is fundamental for optimizing their performance across diverse applications, ensuring that these materials meet the rigorous demands of modern technology and industry.

2.1 POROSITY

Porosity is a critical factor that influences the mechanical strength of porous SiC ceramics. The relationship between porosity and mechanical strength is generally inverse; as porosity increases, the mechanical strength tends to decrease. This reduction in strength is due to the introduction of voids within the material, which act as stress concentrators and reduce the load-bearing cross-sectional area.

Studies have shown that the mechanical strength of porous SiC ceramics decreases exponentially with increasing porosity. For instance, a ceramic with higher porosity might exhibit significantly lower strength compared to a ceramic with lower porosity. The reduction in strength can be attributed to the fact that pores disrupt the continuity of the material, leading to easier crack initiation and propagation under applied stress.

porosity resulting from the sacrificial template and (2) the residual porosity obtained from the incomplete densification of the struts. The increase of flexural strength of porous SiC ceramics sintered in argon atmosphere was due to partial deaerification of the struts during sintering. However, the insensitivity of flexural strength of porous SiC ceramics sintered in nitrogen atmosphere was attributed to the negligible densification of the struts. It is well-documented that the an N₂ atmosphere retards the densification of SiC, owing to the decreased diffusivity of Si and C atoms in SiC and retarded mass transport during sintering under an N₂ atmosphere. Therefore, the flexural strength of porous SiC ceramics sintered in Ar atmosphere increased with an increase in the BN content because of the partial densification, i.e. decreasing porosity.

The flexural strength with bonding material such as sodium borate and cordierite are 9 MPa at 62% porosity (Lim et al., 2013) and 5.4–8 MPa at 60%–62% porosity (Liu et al., 2009; Dey et al., 2013; Zhu et al., 2007), respectively. The flexural strength of porous reaction-bonded SiC ceramics are 14–16 MPa at 61%–64% porosity (Yamane et al., 2011; Zhang et al., 2009).

These results suggests that the porosity is an essential to the mechanical properties of porous SiC ceramics and significantly influenced by decreasing the flexural strength because they act as a starting point for failure. However, it is worth noting that controlled porosity can enhance certain properties such as thermal shock resistance and fracture toughness. By optimizing the porosity, it is possible to achieve a desirable balance between mechanical strength and other functional properties.

2.2 PORE SIZE

The size of the pores within SiC ceramics also plays a crucial role in determining their mechanical strength. Smaller pores are generally less detrimental to mechanical strength compared to larger pores. This is because larger pores create larger stress concentrations, which can significantly weaken the material and make it more susceptible to fracture.

Experimental investigations have demonstrated that reducing the average pore size can lead to an increase in the mechanical strength of porous SiC ceramics. For example, ceramics with average pore sizes in the range of a few micrometers exhibit higher strength compared to those with pore sizes in the range of tens or hundreds of micrometers.

Figure 2 shows comparison of the flexural strength of porous SiC ceramics as a function of pore size with published values in the prior literature in the pore size range of 4–23 μm . As shown, the flexural strength of B-, N-, and undoped porous SiC ceramics are 25.9, 11.5, and 8.8 MPa at a pore size of $\sim 9 \mu\text{m}$, $\sim 12 \mu\text{m}$, and $\sim 20 \mu\text{m}$, respectively (Kultayeva et al., 2021). The flexural strength of porous SiC ceramics with 5.8 wt% Al₂O₃-Y₂O₃-MgO is 15 MPa at a pore size of $\sim 7 \mu\text{m}$ (Chae et al., 2009). The flexural strength of porous SiC ceramics with cordierite are 5.4, 7.0, and 8.0 MPa at a pore size of $\sim 4 \mu\text{m}$, $\sim 23 \mu\text{m}$, and $\sim 4.9 \mu\text{m}$, respectively (Liu et al., 2009; Dey et al., 2013; Zhu et al., 2007).

The flexural strengths of porous SiC ceramics with BN additive are 9.3 MPa, 12.7 MPa, 18.3 MPa, and 28.2 MPa at a pore size of $\sim 9.1 \mu\text{m}$, $\sim 8.9 \mu\text{m}$, $\sim 8.1 \mu\text{m}$, $\sim 7.0 \mu\text{m}$, respectively (Kultayeva et al., 2021). Recently, Das et al. reported that the flexural strength of gradually decreased from 116.3 MPa to 43.9 MPa with an increase in pore size from 7 to 98 μm at constant porosity while the strength decreased from 116.3 to 58.7 MPa with increasing porosity from 40%

to ~63% at the same pore size of 7 μm . (Das et al., 2024). An increase in the pore size of porous ceramics implies an increase in the critical defect size, leading to a decrease in the flexural strength when the pore size is sufficiently large to become a critical defect.

Given the significant variability in the data observed in the flexural strength versus pore size plot, pore size does not seem to be the primary factor affecting the flexural strength of porous SiC ceramics when the additive composition and necking area differ. It seems that the flexural strength of porous SiC ceramics is primarily influenced by the additive chemistry (necking area) and secondarily by the pore size when the porosities are in the range of 58%–67%.

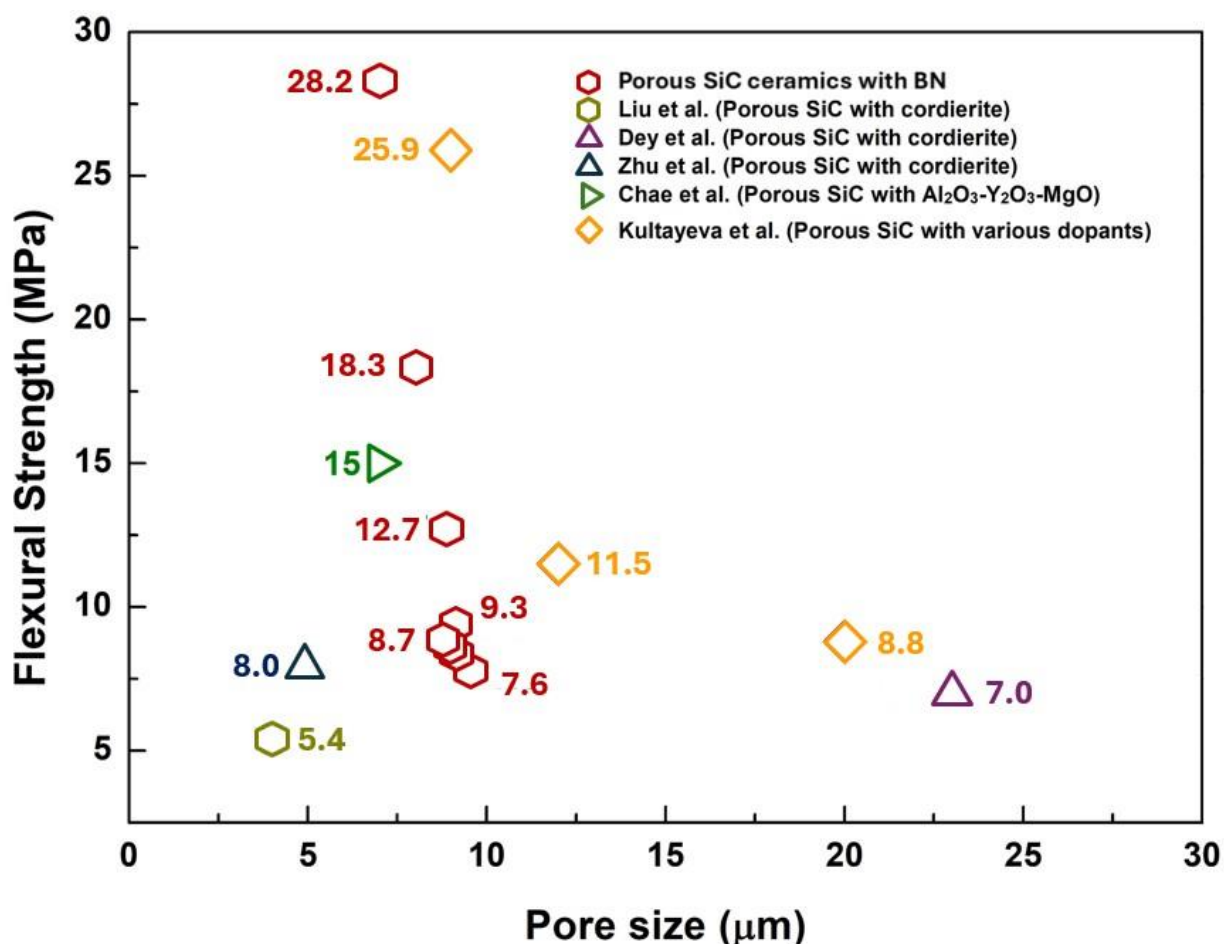


Figure 2 – Flexural strength of porous SiC ceramics as a function of pore size (author’s material).

2.3 NECKING AREA

The neck area between SiC grains is a key factor for porous SiC ceramics. The necking area refers to the regions where particles within the porous structure are bonded together. In porous SiC ceramics, the necking area significantly influences mechanical strength. A larger necking area implies stronger bonding between particles, which can enhance the material's overall mechanical strength.

Research has shown that increasing the necking area can improve the load transfer between particles, thereby increasing the mechanical strength of the porous structure. Techniques such as sintering at higher temperatures or for longer durations can promote neck growth and enhance

bonding strength. However, excessive sintering can lead to densification and a reduction in porosity, which might not be desirable for certain applications.

Optimizing the necking area involves balancing the sintering conditions to achieve sufficient bonding without compromising the desired porosity. This optimization is crucial for tailoring the mechanical properties of porous SiC ceramics to specific application requirements.

Table 1 shows the comparison of the flexural strength data of porous SiC ceramics at an equivalent porosity of ~62%. From the **Figure 1** and **Table 1** it can be seen that the flexural strengths of porous SiC ceramic with 1 vol% B₄C, porous SiC ceramic with 1 vol% BN were 29.5 and 28.2 MPa, respectively, at an equivalent porosity of approximately 62%. In contrast, the flexural strengths of porous SiC ceramic with 1 vol% Sc₂O₃, porous SiC with sodium borate, undoped porous SiC ceramic, porous SiC with cordierite, porous reaction bonded SiC, and porous SiC with Al₂O₃ were 10.5 MPa, 9 MPa, 8.8 MPa, 5.4 MPa, 14 MPa, and 16.8 MPa, respectively, at an equivalent porosity of approximately 62%.

Table 1

Comparison of the flexural strength data of porous SiC ceramics at an equivalent porosity of ~62%

Porous SiC ceramics	Porosity (%)	Flexural strength (MPa)	Remark
Porous SiC ceramic with B ₄ C	61.9	29.5	Kultayeva & Kim, 2022
Porous SiC ceramic with Sc ₂ O ₃	61	10.5	Kultayeva et al., 2021a
Porous SiC ceramic with BN	62.4	28.2	Kultayeva et al., 2021
Porous SiC with sodium borate	62	9	Lim et al., 2013
Undoped porous SiC ceramic	61.9	8.8	Kultayeva et al., 2021a
Porous SiC with cordierite	61.3	5.4	Liu et al., 2009
Porous reaction bonded SiC	61	14	Zhang et al., 2009
Porous SiC with Al ₂ O ₃	61.4	16.8	Chi et al., 2004

Recently, Kultayeva et al. reported that the B-doping into SiC lattice was very effective in forming a wide necking area and strong bonding between SiC grains, leading to excellent flexural strengths. As shown in **Figure 3 (a) and (c)**, porous SiC ceramic prepared from B contained additives such as B₄C and BN showed well-developed necking area between SiC grains compared to porous SiC ceramic with Sc₂O₃ or undoped porous SiC ceramic. It was attributed to the strong bonding between SiC grains created by incorporation of B₄C- and BN-derived B atoms into SiC lattice leading to enhanced mass transport of the Si and C atoms. The grain morphology observation of the undoped porous SiC ceramic **Figure 3 (d)** shows that the lower flexural strength was attributed to the narrower necking area between equiaxed SiC grains.

This literature data analysis suggests that the porosity and pore size does not appear to be the major factors influencing the flexural strength of porous SiC ceramics. It seems that the flexural strength of porous SiC ceramics is primarily influenced by the additive chemistry (necking area) and secondarily by the pore size when the porosities are in the range of 58%-67%.

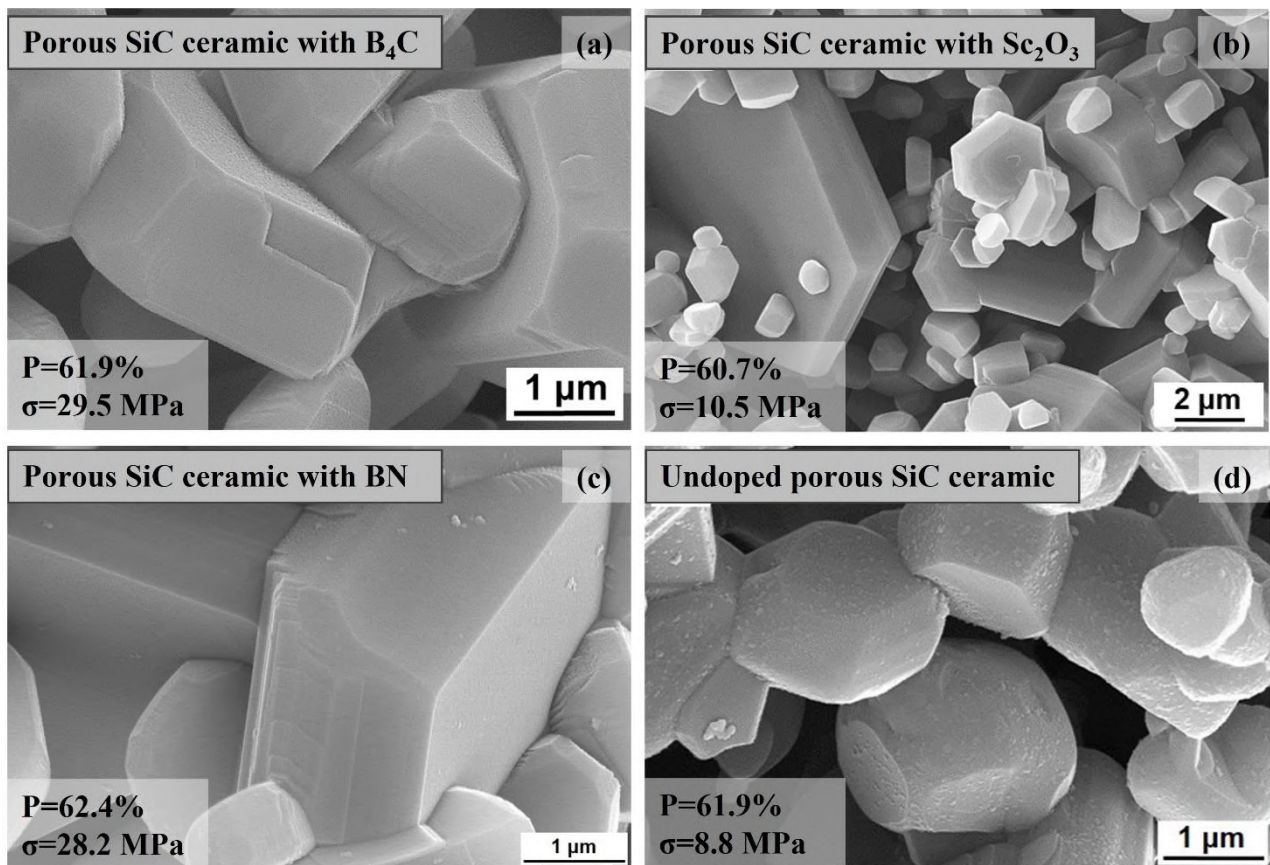


Figure 3 – Fracture surfaces of porous SiC ceramics with controlled porosity: (a) porous SiC ceramic with B_4C (Kultayeva & Kim, 2022), (b) porous SiC ceramic with Sc_2O_3 (Kultayeva et.al, 2021a), (c) porous SiC ceramic with BN (Kultayeva et.al, 2021) undoped porous SiC ceramic (Kultayeva et.al, 2021a).

3 CONCLUSIONS

This article reviews the major factors affecting the mechanical strength of porous SiC ceramics. The following are the main conclusions:

- (1) The flexural strength of porous SiC is influenced by its porosity, i.e. with an increase in porosity the flexural strength decreases. This is because pores or voids in porous SiC reduce the amount of solid material present and therefore weaken the overall structure.
- (2) The flexural strength of the porous SiC ceramics increases by decreasing pore size because of the decreased defect (pore) size. In addition, the flexural strength of porous SiC can be successfully tuned for various application requirements by adjusting the pore size while keeping the porosity fixed.
- (3) The flexural strength of porous SiC can be successfully tuned for different applications by precisely control of the doping soluble atoms into SiC lattice. Incorporation of soluble B atoms into SiC lattice was very effective strategy to increase the flexural strength by forming a wide necking area between SiC grains. Generally, the flexural strength of porous SiC ceramics was dependent on the necking area (strong bonding area) and homogeneously distributed pores.

4 FUTURE WORK

By developing novel strategies for tuning the flexural strength of porous SiC ceramics, a multitude of new applications can be realized in the near future. The effect of the initial α - and β -phase content (different polytypes of SiC) on the properties of porous SiC ceramics has not yet been thoroughly investigated. Exploring the impact of these different polytypes on the mechanical properties of pure porous SiC ceramics presents an intriguing area for future research. Advances in processing techniques and a deeper understanding of the microstructural factors will enable the development of porous SiC ceramics with tailored mechanical properties. This will open up possibilities for a wide range of high-performance applications, enhancing the versatility and functionality of these advanced materials.

REFERENCES

1. **Fukushima M., Zhou Y., Youshizawa Y.I.** (2008). Fabrication and microstructural characterization of porous silicon carbide with nano-sized powders. *Materials Science and Engineering: B*, 148, 211–214, <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2007.09.026>
2. **Ihle J., Martin H.P., Herrmann M., Obenaus P.** (2006). The influence of porosity on the electrical properties of liquid-phase sintered silicon carbide. *International Journal of Materials Research*, 97, 649–656, <https://doi.org/10.3139/146.101285>
3. **Fukushima M., Zhou Y., Miyazaki H., Yoshizawa Y.I., Hirao K., Iwamoto Y., Yamazaki S., Nagano N.** (2006). Microstructural characterization of porous silicon carbide membrane support with and without alumina additive. *Journal of American Ceramic Society*, 89 (5), 1523–1529, <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2006.00931.x>
4. **Ohji T., Fukushima M.** (2012). Macro-porous ceramics: processing and properties. *International Materials Reviews*, 57 (2), 115–131, <https://doi.org/10.1179/1743280411Y.0000000006>
5. **Colombo P.** (2008). In praise of pores. *Science*, 322 (5900), 381–383, <https://doi.org/10.1126/science.1162962>
6. **Sandra F., Ballester A., NGuyen V.L., Tsampas M.N., Vernoux P., Balan C., Iwamoto Y., Demirci U.B., Miele P., Bernard S.** (2016). Silicon carbide-based membranes with high soot particle filtration efficiency, durability and catalytic activity for CO/HC oxidation and soot combustion. *Journal of Membrane Science*, 501, 79–92, <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2015.12.015>
7. **Dey A., Kayal N., Chakrabarti O., Murilo D.M. Innocentini, Chacon W.S., Coury J.R.** (2013). Evaluation of air permeation behavior of porous SiC ceramics synthesized by oxidation-bonding technique. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 10 (6), 1023–1033, <https://doi.org/10.1111/j.1744-7402.2012.02847.x>
8. **Zhou Y., Fukushima M., Miyazaki H., Yoshizawa Y.I., Hirao K., Iwamoto Y., Sato K.** (2011). Preparation and characterization of tubular porous silicon carbide membrane supports. *Journal of Membrane Science*, 369, 112–118, <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2010.11.055>
9. **Eom J.H., Kim Y.W., Song I.H., Kim H.D.** (2008). Processing and properties polysiloxane derived porous silicon carbide ceramics using hollow microsphere as templates. *Journal of the*

- European Ceramic Society, 28(5), 1029–1035, <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2007.09.009>
10. **Ferraro C., Garcia-Tunon E., Barg S., Miranda M., Ni N., Bell R., Saiz E.** (2018). SiC porous structures obtained with innovative shaping technologies. *Journal of the European Ceramic Society*, 38(3), 823–835, <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2017.09.048>
 11. **Durif C., Wynn M., Balestrat M., Franchin G., Kim Y.W., Leriche A., Miele P., Colombo P., Bernard S.** (2019). Open-celled silicon carbide foams with high porosity from boron-modified polycarbosilanes. *Journal of the European Ceramic Society*, 36(16), 5114–5122, <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2019.08.012>
 12. **Ding S., Zhu S., Zeng Y., Jiang D.** (2006). Effect of Y₂O₃ addition on the properties of reaction-bonded porous SiC ceramics. *Ceramics International*, 32 (4), 461–466, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2005.03.024>
 13. **Gómez-Martín A., Orihuela M.P., Becerra J.A., Martínez-Fernández J., Ramírez-Rico J.** (2016). Permeability and mechanical integrity of porous biomorphic SiC ceramics for application as hot-gas filters. *Materials & Design*, 107, 450–460, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.06.060>
 14. **Eom J.H., Kim Y.W.** (2008). Effect of template size on microstructure and strength of porous silicon carbide ceramics. *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 116(1358), 1159–1163, <https://doi.org/10.2109/jcersj2.116.1159>
 15. **Hotta M., Kita H., Matsuura H., Enomoto N., Hojo J.** (2012). Pore-size control in porous SiC ceramics prepared by spark plasma sintering. *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 120(1402), 243–247, <https://doi.org/10.2109/jcersj2.120.243>
 16. **Rajpoot S. Ha J.H., Kim Y.W.** (2021). Effects of initial particle size on mechanical, thermal, and electrical properties of porous SiC ceramics. *Ceramics International*, 47(6), 8668–8676, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.11.238>
 17. **Wan P., Wang J.** (2018). Highly porous nano-SiC with very low thermal conductivity and excellent high temperature behavior. *Journal of the European Ceramic Society*, 38(2), 463–467, <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2017.09.037>
 18. **She J., Yang J.F., Kondo N., Ohji T., Kanzaki S., Deng Z.Y.** (2002). High-strength porous silicon carbide ceramics by an oxidation-bonding technique. *Journal of the American Ceramic Society*, 85(11), 2852–2854, <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.2002.tb00542.x>
 19. **Kim Y.H., Kim Y.W., Seo W.S.** (2020). Processing and properties of silica-bonded porous nano-SiC ceramics with extremely low thermal conductivity. *Journal of the European Ceramic Society*, 40(7), 2623–2633, <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2019.11.072>
 20. **Zhang J.F., Zhou X.N., Zhi Q., Zhao S.** (2020). Microstructure and mechanical properties of porous SiC ceramics by carbothermal reduction and subsequent recrystallization sintering. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 8(2) 255–264, <https://doi.org/10.1080/21870764.2020.1728045>
 21. **Kultayeva, S.; Kim, Y.-W.** (2022). Electrical, thermal, and mechanical properties of porous silicon carbide ceramics with a boron carbide additive. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 20 (2), 1114–1128, <https://doi.org/10.1111/ijac.14113>
 22. **Kultayeva, S.; Kim, Y.-W.; Song, I.-H.** (2021). Influence of sintering atmosphere and BN additives on microstructure and properties of porous SiC ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, 41(14), 6925–6933, <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2021.07.039>
 23. **Lim K.Y., Kim Y.W., Song I.H.** (2013). Porous sodium borate-bonded SiC ceramics. *Ceramics International*, 39, 6827–6834, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.02.014>

24. **Liu S., Zeng Y.P., Jiang D.** (2009). Fabrication and characterization of cordierite-bonded porous SiC ceramics. *Ceramics International*, 35, 597–602, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2008.01.025>
25. **Dey A., Kayal N., Chakrabarti O., Caldato R.F., Andre C.M., Innocenti D.M. Murilo.** (2013). Permeability and nanoparticle filtration assessment of cordierite-bonded porous SiC ceramics. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52, 18362-18372, <https://doi.org/10.1021/ie402876v>
26. **Kultayeva, S., Kim, Y.-W., Song, I.-H.** (2021a). Effects of dopants on electrical, thermal, and mechanical properties of porous SiC ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, 41(7), 4006–4015, <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2019.11.045>
27. **Zhu S., Ding S., Xi H., Li Q., Wang R.** (2007). Preparation and characterization of SiC/cordierite composite porous ceramics, *Ceramics International*, 33, 115–118, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2005.07.006>
28. **Yamane H., Shirai Y., Morito H., Yamada T., Hasegawa Y., Ikeda T.** (2011). Fabrication of porous SiC ceramics having pores shaped with Si grain templates, *Journal of the European Ceramic Society*, 31, 409–413, <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2010.10.025>
29. **Zhang Z., Wang F., Yu X., Wang Y., Yan Y., Li K., Luan Z.** (2009). Porous silicon carbide ceramics produced by a carbon foam derived from mixture of mesophase pitch and Si particles. *Journal of the American Ceramic Society*, 92, 260–263, <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2008.02842.x>
30. **Chi W., Jiang D., Huang Z., Tan S.** (2004). Sintering behavior of porous SiC ceramics, *Ceramics International*, 30, 869–874, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2003.10.006>
31. **Das, D., Lucio, M.D.S., Kultayeva, S., Kim, Y.-W.** (2024). Effect of pore size on the flexural strength of porous silicon carbide ceramics. *Open Ceramics*, 17, 100251, <https://doi.org/10.1016/j.oceram.2023.100521>

THE SPATIAL DEVELOPMENT OF THE KHOJA AHMED YASAWI COMPLEX IN TURKESTAN FEATURES

B.U. Kuspangaliyev¹ , K.I. Samoilov¹ , O.N. Priemets^{2*} 

¹T.K.Basenov Institute of Architecture and Construction, Satbayev University, 050000, Almaty, Kazakhstan

²International Educational Corporation, 050028, Almaty, Kazakhstan

Abstract. *The problem of preservation and optimal demonstration of architectural monuments to local residents and tourists is of constant scientific and public interest. An interesting example of such a monument is the mausoleum-khanaka of Khoja Ahmed Yasawi in Turkestan, which remained unfinished. Studies of this building have been conducted for more than one century. However, not all new materials take into account some aspects disclosed in previous years. For example, studies of foundations and walls conducted in the 1950's suggested that during the main period of construction in the fourteenth century, only the completion of the complex was carried out, and not the construction of a completely new building. However, despite the publications confirming it, including those of the 2010s, the version of new construction on the site of the purposefully completely destroyed original complex is still widespread. Based on the authors' research, which was conducted in late 2022, the assumption of reconstruction and rebuilding of the mausoleum-khanaka complex of the XIV century project was confirmed. An assumption is also made about the shape of the main dome and portal, which remained unfinished. Taking into account the importance of the mausoleum-khanaka of Khoja Ahmed Yassawi for self-determination of the culture of modern Kazakhstan, it seems appropriate to consider the evolution of the complex and the prospects of its development, which is done in the proposed article.*

Keywords: *a reconstruction, a restoration, the medieval architecture of Central Asia, a mausoleum-khanaka.*

***Corresponding author**

Oksana Priemets, e-mail: oksana.priemets@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-09>

Received 01 November 2023; Revised 19 December 2023; Accepted 06 February 2024.

ТҮРКІСТАНДАҒЫ ҚОЖА АХМЕТ ЯССАУИ КЕШЕНІНІҢ КЕҢІСТІКТІК ДАМУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Б.У. Куспанғалиев¹ , К.И. Самойлов¹ , О.Н. Приемец^{2*} 

¹Т. Қ. Басенов атындағы сәулет және құрылыс институты, Satbayev University, 050000,
Алматы, Қазақстан

² Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, 050028, Қазақстан

Аңдатпа. Жергілікті тұрғындар мен туристерге сәулет ескерткіштерін сақтау және оңтайлы көрсету мәселесі үнемі ғылыми және қоғамдық қызығушылық тудырады. Мұндай ескерткіштің қызықты мысалы-Түркістандағы Ханақа Қожа Ахмет Яссауи кесенесі. Бұл ғимаратты зерттеу бір ғасырдан астам уақыт бойы жүргізіліп келеді. Алайда, барлық жаңа материалдар алдыңғы жылдары ашылған кейбір аспектілерді ескермейді. Мәселен, мысалы, 1950 жылдары жүргізілген іргетастар мен қабырғаларды зерттеу XIV ғасырдағы құрылыстың негізгі кезеңінде тек жаңа ғимарат тұрғызу емес, кешенді аяқтау жүргізілгенін көрсетті. Алайда, мұны растайтын басылымдарға, соның ішінде 2010 жылдардағыларға қарамастан, әдейі толығымен жойылған бастапқы кешен орнында жаңа құрылыс нұсқасы әлі де кең таралған. Авторлардың 2022 жылдың аяғында жүргізген зерттеулері негізінде 14 ғасыр жобасының кесене-хана кешенін қайта құру және қайта жаңғырту болжамы расталды. Аяқталмаған негізгі күмбез мен порталдың пішіні туралы да болжам жасалды. Қожа Ахмет Ясауи кесенесі-ханасының қазіргі Қазақстан мәдениетінің өзін-өзі анықтауы үшін маңыздылығын ескере отырып, осы мақалада айтылған кешеннің эволюциясы мен оның даму болашағын қарастырған жөн сияқты.

Түйін сөздер: қайта құру, қалпына келтіру, Орта Азияның ортағасырлық сәулет өнері, ханақа кесенесі

*Автор-корреспондент

Оксана Приемец, e-mail: oksana.priemets@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-09>

Алынды 01 қараша 2023; Қайта қаралды 19 желтоқсан 2023; Қабылданды 06 ақпан 2024.

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ КОМПЛЕКСА ХОДЖИ АХМЕДА ЯССАВИ В ТУРКЕСТАНЕ

Б.У. Куспанғалиев¹ , К.И. Самойлов¹ , О.Н. Приемец^{2*} 

¹Институт архитектуры и строительства им. Т.К.Басенова, Satbayev University, 050000,
Алматы, Казахстан

²Международная образовательная корпорация, Алматы, 050028, Казахстан

Аннотация. Проблема сохранения и оптимальной демонстрации местным жителям и туристам памятников архитектуры представляет постоянный научный и общественный интерес. Интересным примером такого памятника является мавзолей-ханака Ходжа Ахмеда Яссави в Туркестане, который остался недостроенным. Исследования этого здания ведутся не одно столетие. Однако не все новые материалы учитывают некоторые аспекты, раскрытые в предыдущие годы. Так, например, исследования фундаментов и стен, проведённые в 1950-х годах, позволили предположить, что в основной период строительства в четырнадцатом веке проводилась только достройка комплекса, а не возведение полностью нового здания. Однако, несмотря на подтверждающие это публикации, в том числе и 2010-х годов, по-прежнему широкое распространение имеет версия нового строительства на месте целенаправленно полностью разрушенного первоначального комплекса. На основании проведённых авторами исследований, которые проводились в конце 2022 года, подтверждено предположение о реконструкции и перестройке комплекса мавзолея-ханака проекта XIV века. Также сделано предположение о форме главного купола и портала, которые остались недостроенными. Учитывая важность мавзолея-ханака Ходжи Ахмеда Яссави для самоопределения культуры современного Казахстана, представляется целесообразным рассмотреть эволюцию комплекса и перспективы его развития, что и сделано в предлагаемой статье.

Ключевые слова: реконструкция, реставрация, средневековая архитектура Центральной Азии, мавзолей-ханака.

*Автор-корреспондент

Оксана Приемец, e-mail: oksana.priemets@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-09>

Поступила 01 ноября 2023 г.; Пересмотрено 19 декабря 2023 г.; Принято 06 февраля 2024 г.

ACKNOWLEDGEMENTS/SOURCE OF FUNDING

The study was conducted using private sources of funding.

CONFLICT OF INTEREST

The authors state that there is no conflict of interest.

АЛҒЫС / ҚАРЖЫЛАНДЫРУ КӨЗІ

Зерттеу жеке қаржыландыру көздерін пайдалана отырып жүргізілді.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

БЛАГОДАРНОСТИ/ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование проводилось с использованием частных источников финансирования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

1 ВВЕДЕНИЕ

Средневековая архитектура Казахстана представлена множеством памятников. Они изначально отражали специфику каждого из исторических периодов, в которые они появились. Особое значение имеет мавзолей-ханака Ходжа Ахмеда Яссави в Туркестане. Это здание несмотря на то, что оно осталось в недостроенном состоянии, имеет большое историческое значение. И теперь это также рассматривается как часть спектра элементов региональной идентичности для современной архитектуры страны ([Baitanaev & Yelgin, 2013](#); [Abdrasilova et.al., 2021](#)). В настоящее время этому уделяется особое внимание. Это связано с тем, что город Туркестан стал столицей одноименного региона. Кроме того, в идеологическом плане этот город с комплексом средневековых памятников воспринимается как “Духовная столица Казахстана”.

2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Мавзолей-ханака в Туркестане подробно описывается и изучается уже более ста пятидесяти лет. Эти исследования собраны и обобщены Ю.А. Ёлгиным ([Yelgin, 1992, 2013](#)). Изучение памятника активно продолжается. Одно из первых опубликованных описаний здания было сделано М.С. Бекчуриным ([Bekchurin, 1866](#)) в 1866 г. Он указал на расположение здания в структуре городской крепости, кратко описал пространственную композицию, планировочное решение, функциональную схему, конструктивное решение. Приведён список государственных и общественных деятелей, похороненных на территории комплекса. Большое внимание уделено описанию организационных и финансовых аспектов существования комплекса как объекта религиозного поклонения. Описание содержит данные о времени постройки мечети “Азрет”, пересказывается легенда о причинах, побудивших Тимура отдать приказ о строительстве комплекса. Особое внимание уделено переводу надписей, выполненных на арабском и персидском языках. Также обращается внимание на аварийное состояние некоторых частей здания. Разрушения стали результатом как военных действий, которые происходили в разное время, так и несвоевременного текущего ремонта.

В 1929 и 1930 годах подробное описание было выполнено М.Е. Массоном ([Masson, 1929, 1930](#)). Он рассказал о самом Ходже Ахмеде Яссави; проследил историю мавзолея и основные этапы его функционирования; охарактеризовал историко-архитектурный облик мавзолея; дал описание архитектурно-планировочных и пространственных решений мавзолея, подробно описал современный облик мавзолея. Высказывалось предположение о возможном сходстве композиции недостроенного портала Мавзолея в Туркестане с порталом дворцового комплекса Ак-Сарай в Шахриябзе. Особое внимание уделено шейхам мавзолея и легендам о Ходже Ахмеде. Эти работы М.Е. Массона являются первым научно обоснованным описанием памятника, ставшим основой для дальнейших исследований. В 1950 году была опубликована работа Г.И. Пацевича ([Patsevich, 1950](#)). В нем подробно описан комплекс работ по ремонту и реставрации мавзолея-мечети Ходжи Ахмеда Ясави, которые были проведены в 1939-1941 годах. Благодаря этому описанию стала понятна специфика конструктивного решения здания как в целом, так и в отдельных узлах.

Основываясь на ранее лично проведённых исследованиях и анализе имеющейся научной базы, в 1960-1963 годах Л.Ю. Маньковская ([Mankovskaya, 1960, 1962, 1963](#)) опубликовала несколько работ, посвящённых архитектурным и археологическим аспектам реставрации мавзолея. Впервые архитектурные особенности этого здания становятся предметом диссертационного исследования. В дальнейшем под руководством Л.Ю. Маньковской были проведены исследовательские работы по подготовке реставрации и реализован проект по сохранению мавзолея Ходжи Ахмеда Яссави (1968-1972). Эта работа легла в основу всестороннего исследования по типологии архитектуры в Центральной Азии. Исследование, проведённое Л.Ю. Маньковской, способствовало прояснению архитектурного феномена разрешения множества функций в единой форме, что позволило выявить своеобразный универсальный конструктор, из которого возводились все типы монументальных зданий, оставаясь при этом специфичными и уникальными. удалось доказать,

что существовал стандартный проект, при использовании которого архитекторами наблюдалась свободная интерпретация унифицированных, накопленных веками, схем. Кроме того, архитекторы владели методами гибкого преобразования пространственных структур.

В исследовании Т.К. Басенова ([Basenov, 1982](#)) приведены основные сведения об архитектурном решении мавзолея-ханаки. В конце 1980-х годов Б.Т. Туякбаева ([Tuyakbayeva, 1989](#)) на уровне диссертации осветила состав и содержание эпитафики мавзолея-ханака. Данная работа даёт наиболее полное на сегодняшний день описание специфики архитектурного убранства памятника. Подробное описание мавзолея-ханаки вошло в опубликованный в 1994 г. Свод памятников Южно-Казахстанской области ([A set of historical and cultural monuments of Kazakhstan, 1994](#)). В интервью А.Б. Ордабаева ([Ordabaev, 2017](#)) описан личный опыт многолетней работы по изучению и реставрации рассматриваемого памятника. Программа ремонтных работ в мавзолее-ханака, разработанная в начале XX века детально рассмотрена и проанализирована Ю.А. Ёлгиным ([Yelgin, 2018](#)). Г.С. Абдрасиловой, Э.М. Байтеновым, А.К. Туякаевой ([Baitenov et al., 2019](#)) мавзолеев-ханака рассмотрен в контексте средневековых мавзолеев региона. Д. Мустапаевой ([Mustapaeva, 2021](#)) акцентированы особенности мавзолея-ханаки, описан первоначальный мавзолей XII века на месте мавзолея-ханаки XIV века. Эта работа важна для понимания истории развития комплекса.

С точки зрения предположения о первоначальном плане, который не был полностью реализован, важно изучить идентичные здания той эпохи. Особенно это касается композиционных анализов формирования различных памятников региона в целом, которые проанализировал М.С. Булатов ([Bulatov, 1988](#)) - и отдельных примеров в частности Главной мечети Биби-Ханым в Самарканде, которую детально рассмотрел Ш.Э. Ратия ([Ratiya, 1950](#)). Новое исследование, касающееся концепции проектного замысла мавзолея-ханака, было проведено в конце 2022 г. ([Samoilov et al., 2023](#)). В контексте этих исследований представляет интерес рассмотреть особенности развития комплекса и возможность реализации проекта XIV века.

3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методология исследования основана на последовательном сборе информации, анализе полученных данных, обобщении данных анализа, определении подходящих путей для завершения строительства. В этом контексте применены: интегрально-дифференциальный подход, позволяющий разделить массив по принципу сходства архитектурных форм на множество характерных для каждого периода тем, объединив их в направления, отражающие специфику одного или нескольких этапов; формальный подход, позволяющий проследить развитие различных архитектурных форм; иконографический подход, позволяющий нам исследовать проявление особенностей различных прототипов в архитектурных формах; структурно-семиотический подход, позволяющий моделировать развитие архитектурных форм.

Исходя из этого, изначально, на основе литературных источников, была рассмотрена история долгосрочного строительства здания и проведённых ремонтно-реставрационных работ. В совокупности, с проведёнными авторами визуальными обследованиями в 1984-1985 гг. и 2021-2022 гг., это послужило основанием для определения состояния сохранности основных конструкций здания. Основываясь на предположениях, ранее выдвинутых авторами относительно первоначального проектного плана XIV века ([Samoilov et al., 2023](#)), были определены места проведения дальнейших проектных и строительных работ, которые позволят завершить строительство. Это ликвидирует аварийное состояние, в котором сейчас находится здание.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Сейчас здание мавзолея-ханака Ахмеда Яссави представляет собой двухэтажный портално-купольный объем. Высота самой высокой части составляет около 40 м. В плане

здание имеет прямоугольную конфигурацию (46,5 x 65,5 м). Он состоит из нескольких блоков и включает в себя тридцать шесть помещений различного назначения. Помещения имеют одно- и двухуровневое решение. Соединение между этажами осуществляется винтовыми лестницами.

Некоторые помещения увенчаны одинарными или двойными куполами различных размеров и форм. Внешний стрельчатый купол над мавзолеем имеет ребристое решение. Два низких купола перекрывают главное дворцовое помещение. Главный зал покрыт самым большим сохранившимся одиночным куполом в регионе диаметром 18,2 м. Внутренняя часть большинства куполов и подкупольных сооружений имеет гипсовую облицовку сталактитового типа. Основным материалом конструкций и отделки является обожжённый кирпич, изготовленный из сауранской глины. Отделочные кирпичи имеют глазурованную поверхность различных цветов. Орнамент внешней отделки – геометрический, эпиграфический и растительный. Недостроенный главный портал с угловой башней не облицован.

Анализ исторических аспектов некоторых этапов строительства выявил существенные детали, которые ранее не акцентировались. Вкратце эволюция комплекса выглядит следующим образом. Некрополь начал формироваться в V-X вв. В XII в. появился мавзолей Ходжи Ахмеда ([Mustapaeva, 2021](#)). Далее, к началу XIV в., как считает Ю.А. Ёлгин ([Yelgin, 2013](#)), сформировался «ансамбль зданий, организующим центром которого был мавзолей караханидского типа с обширным внутренним двором перед ним и колодцем посреди двора. Теперь определённо говорится о наложении плана Тимуровского комплекса на план первоначального ансамбля с совпадением центров двора и Казандыка».

Основной период строительных работ в комплексе начался, как предполагает М.Э. Массон ([Masson, 1930](#)), в 1394-1395 гг. (дата указана на одной из петель внутренней двери мавзолея-ханаки). В 1395 г. по приказу Тимура на месте комплекса был основан монастырь для суфиев. Эмир Тимур лично посетил место строительства в 1397 г. Идея заказчика, предположительно, была частью общей архитектурной концепции. Описывая эту концепцию, Ш.Е. Ратия ([Ratiya, 1950](#)) пишет: «В «Государстве Тимура» архитектурное искусство достигло исключительно высокого уровня развития. Здания этого времени, гордо завершённые высокими сферическими куполами, опирающимися на барабаны и украшенными сталактитами и гигантскими надписями, отличаются прежде всего массивностью своих архитектурных форм и грандиозностью размеров. Характерным композиционным приёмом, известным в искусстве Центральной Азии с XI-XII вв., является сооружение огромных входных порталов, иногда с высокими и стройными минаретами по углам. Существует тенденция к изысканному разноцветному оформлению сооружений, особенно с внешней, фасадной стороны. В это время широко используются все виды и разновидности архитектурного декора, из которых высокого совершенства достигают изразцовый декор, мозаика и политая терракота, а также настенная орнаментальная роспись и монументальная живопись».

Активные строительные работы по строительству мавзолея-ханаки продолжались до 1399 г. Стены зданий вокруг внутреннего двора были укреплены кирпичной кладкой. Колодец в центре двора был засыпан. Новый колодец был вырыт в специально отведённом для него помещении (есть предположение, что новый колодец был вырыт в XVIII в.). Внутренний двор был перекрыт большим куполом. С юго-восточной стороны комплекса было начато строительство главного портала с угловыми башнями. Все внешние поверхности (кроме Главного портала, Главного купола, купола над мечетью, куполов над парадным залом) были облицованы разноцветной глазурованной плиткой. Это подтверждается исследованиями фундаментов и стен, проведёнными в начале 1950-х годов, о которых Ю.А. Ёлгин ([Yelgin, 2013](#)) пишет: «1) новое здание не было построено полностью, до этого было другое здание с внутренним двором (или группой зданий, образующих внутренний двор), перекрытым позже куполом Казандыка; кроме того, у мечети есть более старые стены (северо-западный угол комплекса); 2) главный южный портал с минаретами был пристроен к ранее

существовавшему зданию; для установки купола Казандыка стены бывшего внутреннего двора были укреплены обкладками, а проходы в этих стенах были сужены (этим объяснялось отсутствие фундаментов под южным порталом)».

То есть, проект XIV в. подразумевал не строительство полностью нового здания, а перекрытие существующего двора двойным куполом, формирование внешних куполов над мавзолеем и мечетью, пристройку с юго-восточной стороны портала и единообразную облицовку фасадов зданий и куполов, построенных в разное время. Двойные купола являются характерной деталью тимуридской архитектуры. Практически одновременно с мавзолеем-ханака в Туркестан на рубеже XIV-XV веков в Самарканде возводятся мавзолей Гури-Эмир и Главная мечеть Биби-Ханым. В этих зданиях применены двойные купола. Кроме того, в самом Мавзолее-ханака Ахмеда Яссави выполнены двойные купола над мавзолеем и мечетью. При этом главный купол остался одинарным, что позволяет предположить его незаконченность.

Состав и последовательность строительных работ, проводившихся с XIV века, является предметом дискуссии. Например, А.К. Муминов ([Muminov, 2019](#)) поддерживает ранее сформировавшееся мнение о том, что «строительству мавзолея-комплекса предшествовало разрушение ранее существовавших на его территории построек XII–XIV вв. Первый этап строительства начался в 1389-1391 гг. и закончился в середине 90-х годов XIX в. Высота здания достигала 14,63 м на главном портале, 12,8 м в казандыке, 11,8 м в гурхане с дневной поверхности XV в. На втором этапе строительства, который, по-видимому, начался в 1397 году, были построены гладкие высотные части главного портала, купола казандыка и гурханы, помещение в северо-западном углу здания было превращено в мечеть. Был усилен декоративный момент: купола главных залов были покрыты изнутри ганчевыми сталактитами, боковые помещения – штукатуркой». Это представляется дискуссионным, так как, если бы велось полностью новое строительство, то коридоры были бы значительно шире, пилоны в коридорах между мавзолеем, мечетью, Большим Ак-сараем, Малым Ак-сараем имели бы регулярный характер, а не были бы разно-размерными вставками, неудобно сужающими проходы. Конфигурация коридоров между позволяет предположить не новое строительство, а надстройку существовавших зданий с объединением их в цельное, более крупное здание.

В 1405 г. строительство мавзолея-ханакки прекратилось из-за смерти Тимура. К этому периоду Главный портал с угловыми башнями, внешний главный купол, облицовка портала и куполов оставались незавершёнными. Описывая ситуацию, М.Е. Массон ([Masson, 1929](#)) пишет: «Если задний фасад, завершённый в своей внешней отделке, а также оба боковых, сейчас является самым красивым внешним видом здания с точки зрения декора, то голый передний портал своими размерами и пропорциями и с первого взгляда поражает зрителя, у которого после этого остаётся от всего памятника ощущение величия. В его общем облике невозможно не заметить сходства с главным входом дворца Тимура Аксарая в Шахриябзе, строительство которого началось гораздо раньше, а именно в 1380 г. Больше всего их сближает характер угловатых минаретов, гранёных внизу, переходящих с определённой высоты в цилиндрические. Замечательные украшения руин Аксарая и сохранившийся скелет портала мавзолея Ходжи Ахмеда в сравнении дополняют друг друга в мысленной реконструкции».

В период 1583-1598 гг. по приказу правителя Бухары Абдулла-хана II была частично достроена арка Главного портала. Верхние части порталных стен были увенчаны зубцами, так как здание постепенно приобретало функцию крепости. Наверно из-за поспешности ведения строительных работ, арочный замок оказался немного смещён от планировочно-композиционной оси здания. Кроме того, правый архивольт впоследствии частично погнулся. Однако и этот этап строительства не полностью ясен. Без сомнения, сведение арки и устройство венчающих зубцов имело место – сам тип кладки этих элементов имеет явные отличия. Но, как указывает М.Е. Массон ([Masson, 1929](#)), «Граница, где кончается первоначальная кладка и начинается достройка XVI века, точно пока не прослежена, но по целому ряду наблюдений она лежит около уровня гранёных частей минарета». Нужны соответствующие детальные обследования кирпичей и раствора, но если это окажется так, то

вся верхняя часть существующего портала с цилиндрическими угловыми башнями (а не только замок арки и зубцы) является результатом работ конца XVI века. Причём облицовка панелями глазурованных кирпичей уже не планировалась, так как для этого нужны соответствующие ячейки (как это выполнено в нижних, гранёных частях угловых башен). То есть полная реализация проектного замысла Тимура не предусматривалась. Эти работы по каким-то причинам были поспешно прекращены до предполагавшегося ранее завершения строительства портала на всю высоту. На это указывает относительная неаккуратность в кладке замка и венчающих зубцов. Соответственно, проектный замысел XIV века, предположительно подразумевал форму портала с угловыми башнями, имеющими гранёное сечение на всю высоту, как это было чуть позднее реализовано в портале Главной мечети Биби-Ханым в Самарканде. Выполненный же в XVI веке переход от гранёных нижних частей угловых башен к цилиндрическим сделал портал похожим на аналогичный элемент главного входа в комплекс Ак-сарай в Шахрисябзе, который был построен по приказу Тимура чуть раньше мавзолея-ханака.

В течение следующих почти двух с половиной столетий мелкий ремонт лишь изредка проводился в аварийных зонах. В 1840-х гг. здание стало частью укреплений цитадели, образованной возведёнными вокруг крепостными стенами. В 1846 г., во время осады, территория вокруг здания и само здание были частично затоплены водой в течение нескольких месяцев. Это имело критические последствия для глиняных и кирпичных фундаментов. Увеличилось количество трещин и скорость их образования. Во время осады в 1864 г. в здание попало несколько артиллерийских снарядов, которые в некоторых местах разрушили давно начавшую осыпаться облицовку.

В начале 1870-х гг. ветхое состояние здания стимулировало идеи о его сносе. Однако проект сноса был отклонён, и в 1872 г. был проведён первый за много лет ремонт и расчистка помещений и прилегающей территории от скопившегося мусора. В 1884 г. была отремонтирована крыша, устроены водосточные трубы, отремонтированы обрушившиеся участки стен подвала. В 1886-1887 гг. северо-западный угол здания, который начал оседать и разрушаться, был укреплён снаружи четырьмя контрфорсами. В 1910 г. был проведён капитальный ремонт – устройство кирпичного фундамента, ремонт некоторых треснувших арок, частичная реставрация штукатурки.

В 1925 г. исследовательские и ремонтные работы активно возобновились. Перерыв был связан с резким изменением социально-экономического положения региона в конце 1910-х годов, в результате которых финансирование работ было временно прекращено. В 1928-1929 гг. были заделаны трещины в стенах, обрушившиеся участки стен были заложены кирпичом, аварийные своды и арки демонтированы и возведены заново.

В 1939-1940 гг. были частично восстановлены утраченные элементы отделки; главный купол был облицован мелким кирпичом местного производства; на крыше сделаны водосточные желоба; стены на втором уровне арки главного портала скреплены стальными стяжками; в помещениях мечети куполообразные деревянные элементы балочных парусов были заменены металлическими; основание купола над мечетью было укреплено стальным обручем.

С середины прошлого века постоянно ведутся исследовательские и ремонтно-реставрационные работы. В 1950-х гг. стальные элементы соединили заднюю стенку портала с четвериком главного купола. Под большинством стен были заложены ленточные фундаменты из различных материалов (железобетон, кирпич на цементном растворе). Были восстановлены частично разрушенные участки стен и полихромная облицовка. В 1970-х и 1980-х гг. продолжался ряд реставрационных работ, включая ремонт облицовки главного купола. Были приняты меры по снижению уровня грунтовых вод. Как вспоминает А.Б. Ордабаев ([Ordabaev, 2017](#)), в середине 1970-х гг. появилась идея всё-таки завершить строительство здания (достроить портал, выполнить облицовку), но она не была реализована. В начале 1980-х гг. комплекс получил юридический статус памятника истории и культуры Республиканского значения. К концу 1980-х гг. была определена область градостроительного

регулирования прилегающей территории. Предполагаемая схема этапов строительства мавзолея-ханака Ахмеда Яссави в Туркестане с XII века показана на **Рисунке 1**.



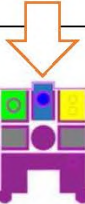
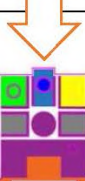
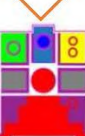
1		ВТОРАЯ ПОЛОВИНА 12 ВЕКА – строительство мавзолея
2		ПЕРВАЯ ПОЛОВИНА 13 ВЕКА – строительство мечети и большого парадного зала, устройство колодца
3		ВТОРАЯ ПОЛОВИНА 13 – СЕРЕДИНА 14 ВЕКА – строительство библиотеки и малого парадного зала, формирующих двор
4		1385-1405 гг. – усиление стен существующих зданий, возведение купола над двором, возведение внешних куполов над мавзолеем и мечетью, начало строительства главного портала с подсобными помещениями и угловых башен, облицовка боковых и заднего фасадов
5		1582-1596 гг. – завершение арки главного портала, устройство зубчатого венчания недостроенного портала и угловых башен
6		ПЕРСПЕКТИВА – завершение главного фасада, возведение внешнего главного купола, облицовка малых куполов, облицовка главного фасада

Рисунок 1 – Предполагаемая схема этапов строительства мавзолея-ханаки Ахмеда Яссави в Туркестане с XII века (материал авторов).

Особое внимание комплексу уделялось с начала 1990-х гг. Город Туркестан стал восприниматься как духовная столица Казахстана. Правительство Казахстана организационно и финансово обеспечило ритмичное проведение всех научно-исследовательских, проектных и строительных работ с привлечением отечественных и зарубежных специалистов. Значительный объём реставрационно-восстановительных работ был проведён в конце 1990-х годов. В настоящее время мавзолей входит в комплекс историко-культурного музея-заповедника «Хазрет-султан», играющего важную роль в духовно-патриотическом воспитании граждан страны. С 2018 г. город Туркестан стал столицей одноимённой области Республики Казахстан.

В 1993 г. было проведено цементирование грунтов под зданием. Значительный объём работ (включая укрепление фундаментов) был проведён в ходе комплексной реставрации

1995-1996 гг. В 2017-2020 гг. был проведён очередной ремонт Главного купола. С начала нынешнего столетия все ремонтные и реставрационные работы согласовывались с ЮНЕСКО, которая включила комплекс в список Всемирного наследия в 2003 г.

Таким образом, на сегодняшний день строительство мавзолея-ханаки Ахмеда Яссави не завершено. В некоторых районах из-за незавершённого строительства наблюдаются аварийные преобразования. Стальные крепёжные детали, изготовленные в разные годы в зоне трещин вдоль арки Главного портала с обратной стороны, стальные кабельные стяжки внутри архивольты арки Главного портала, периодически заштукатуренные трещины на различных участках стен, прогиб правой части арки Главного портала и ряд других повреждений. Другие явления свидетельствуют о целесообразности проведения комплексных мероприятий по завершению строительства мавзолея-ханаки. Часть этих разрушений связана с продолжающимся пропитыванием стен грунтовыми водами (новые следы пропитывания были обнаружены на рубеже 2022-2023 гг.). Решение этой проблемы является приоритетной задачей.

Основываясь на анализе аналогичных зданий эпохи Тимура (середина XIV – начало XV вв.), для завершения строительства здания необходимо: возвести главный (внешний) купол над существующим внутренним; дополнить портал угловыми башнями; выполнить облицовку здания глазурованной плиткой Портала, главного купола, купола над мечетью и купола над парадными помещениями ([Samoilov et al., 2023](#)). Предполагаемый замысел конца XIV в. относительно фасадов мавзолея-ханаки Ахмеда Яссави в Туркестане показан на [Рисунке 2](#).

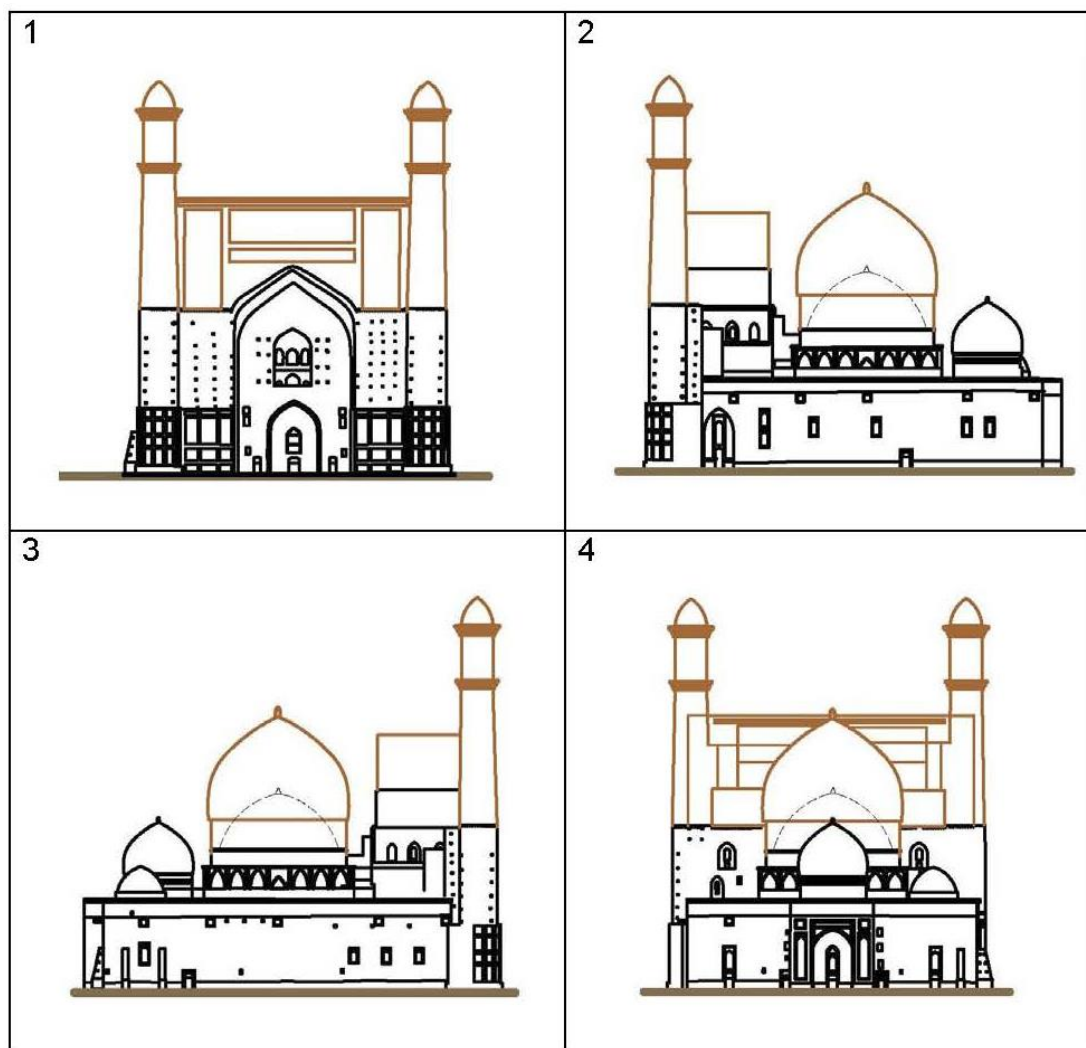


Рисунок 2 – Предполагаемый замысел конца XIV века относительно фасадов мавзолея-ханаки Ахмеда Яссави в Туркестане (существующий объём здания – чёрный цвет; предлагаемая достройка здания – коричневый цвет) (материал авторов).

5 ВЫВОДЫ

Завершение любого многолетнего строительства предполагает решение ряда задач, связанных с состоянием конструкций недостроенного здания. Основная задача – определить возможность использования структуры существующего здания в составе достроенного здания. В рассматриваемой ситуации с мавзолеем-ханака Ходжа Ахмеда Яссави, активное строительство которого закончилось более четырёхсот лет назад, существующие конструкции малопригодны для поддержки новых, вышележащих частей здания. Кроме того, из-за различных природных и антропогенных факторов конструкции существующего здания по-прежнему подвержены намоканию как из атмосферы, так и из грунтовых вод.

Сторонники полной реставрации памятников хотят видеть их сегодня в их былой красоте и изяществе, чтобы они были доступны для показа туристам и возможности использования их для музеефикации или адаптации для других целей. Противники полной реставрации выступают за минимизацию реставрационных работ, поскольку они считают, что в этом случае памятники потеряют свою историчность, а затем возможно будет утрачена историческая и художественная ценность. Примеры незавершённого строительства – это отдельная проблема. В этом случае иногда целесообразно признать необходимость завершения строительства. Многочисленные примеры демонстрируют успешное выполнение этих работ. Обычно используются два метода. Один определяет завершение строительства в других формах, соответствующих новому взгляду на архитектурное и художественное формообразование. Этот метод имеет историческую ценность, так как показывает динамику изменения стилистических предпочтений. Второй вариант кажется интересным с исторической точки зрения. Это завершение строительства в формах, предположительно соответствующих первоначальному плану. В качестве примеров из казахстанской практики можно привести мавзолей Айша Биби (2005), мавзолей Рабиги Султан Бегим (1980-2022), башни Бегим ана и Сараман-Коса (1984).

Проведённое исследование позволило сделать выводы о своеобразии процесса формирования в XIV веке одного крупного здания мавзолея-ханаки на основе объединения нескольких ранее построенных зданий. Однако процесс строительства по различным причинам остался незавершённым. Соответственно, представляет интерес перспектива разработки проектного решения, которое подразумевает завершение строительства мавзолея-ханака Ходжа Ахмеда Яссави. Это продолжит дело предков, реализуя их грандиозный замысел.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Abdrasilova, G. S., Murzagaliyeva, E. T., & Kuc, S.** (2021). Mausoleum of Khoja Akhmet Yassawi as the element of regional identity formation in modern architecture of Kazakhstan, *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 1(9), 127-138. <https://doi.org/10.21533/pen.v9i1.1783>
2. **A set of historical and cultural monuments of Kazakhstan. South Kazakhstan region** (1994) [Svod pamyatnikov istorii i kul'tury` Kazakhstana. Yuzhno-Kazakhstanskaya oblast`]. - Almaty: The main editorial office of the “Kazakh Encyclopedia”. (In Russ.).
3. **Baitanaev, B. A., & Yelgin, Y. A.** (2013). Questions of historical onomastics of the mausoleum of Khoja Ahmed Yassavi. Historical onomastics and epigraphy [Voprosy` istoricheskoy onomastiki mavzoleya Khodzha Akhmeda Yassavi. Istoricheskaya onomastika i e`pigrafika], *Proceedings of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan: Social Sciences and Humanities Series*, 3(289), 241-255. Retrieved from: <http://nblib.library.kz/elib/library.kz/journal/Baitanaev%20Elgin....3....13.pdf> (In Russ.).
4. **Baitenov, E., Tuyakayeva, A., & Abdrasilova, G.** (2019). Medieval mausoleums of Kazakhstan: Genesis, architectural features, major centres, *Frontiers of Architectural Research*, 1(8), 80-93. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2018.11.001>
5. **Basenov, T.** (1982). The complex of the mausoleum of Ahmed Yasawi [Kompleks mavzoleya

- Akhmeda Yassavi], Almaty: Oner. (In Russ.).
6. **Bekchurin, M. S.** (1866). Description of the Azret Mosque, located in the city of Turkestan [Opisanie mecheti Azreta, nakhodyashhejsya v gorode Turkestane], Military Collection, (reprint: Turkestan region. Notes of State Councilor Bekchurin. Kazan: University Printing House), 8(1872), 52-63. (In Russ.).
 7. **Bulatov, M. S.** (1988). Geometric harmonization in the architecture of Central Asia of the 9th - 15th centuries. [Geometricheskaya garmonizacziya v arkhitekture Srednej Azii 9-15 vv.]. Moscow: Nauka. Retrieved from: <http://science.totalarch.com/book/0112.rar> (In Russ.).
 8. **Mankovskaya, L. Y.** (1963). The study of the architectural complex-the mausoleum of Ahmed Yassavi in Turkestan and the issues of its restoration [Issledovanie arkhitekturnogo kompleksa-mavzoleya Akhmeda Yassavi v gorode Turkestane i voprosy` ego restavraczii]: Abstract of the dissertation of the Candidate of Art Criticism, Tashkent: Publishing House of the Academy of Sciences of the Uzbek SSR, 1-18. (In Russ.).
 9. **Mankovskaya, L. Y.** (1962). To study the techniques of Central Asian architecture of the late 14th century: (Mausoleum of Khoja Ahmed Yasawi)[K izucheniyu priyomov sredneaziatskogo zodchestva koncza 14 v.: (Mavzolej Khodzha Akhmeda Yassevi)], IZU, 1, 93-142. (In Russ.).
 10. **Mankovskaya, L. Y.** (1960). Some architectural and archaeological observations on the restoration of the Khoja Ahmed Yasawi complex in Turkestan [Nekotory`e arkhitekturno-arkheologicheskie nablyudeniya po restavraczii kompleksa Khodzha Akhmeda Yassavi v g.Turkestane], Proceedings of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR, Series of History, Archeology and Ethnography, 3(14), 52-69. (In Russ.).
 11. **Masson, M. E.** (1930). Mausoleum of Khoja Ahmed Yasawi [Mavzolej Khodzhi Akhmeda Yassavi], Tashkent: Syrdarya Branch of the Society for the Study of Kazakhstan, 1-24. (In Russ.).
 12. **Masson, M. E.** (1929). About the construction of the mausoleum of Khoja Ahmed in Turkestan city [O postrojke mavzoleya Khodzha Akhmeda v gorode Turkestane], Proceedings of the Central Asian Geographical Society, Tashkent, 19, 39-45. (In Russ.).
 13. **Muminov, A.** (2019). Epigraphic inscriptions of the mausoleum of Khoja Ahmed Yasawi as a source on the history of Kazakhstan [E`pigraficheskie nadpisi mavzoleya Khodzha Akhmeda Yassavi kak istochnik po istorii Kazakhstana], QOJALAR.KZ – Tarikh. Tanyim, Tagym. 12.09. Retrieved from: <https://kozhalar.kz/20197571-epigraficheskie-nadpisi-mavzoleya-hadzha-ahmada-jasavi-kak-istochnik-po-istorii-kazahstana> (In Russ.).
 14. **Mustapaeva, D.** (2021). Study of the structure of the mausoleum of Khoja Ahmed Yasawi of the 12th century [Issledovanie stroeniya mavzoleya Khodzhi Akhmeda Yasavi 12 veka], Bulletin of yassawi University, 4(122), 129-138. <https://doi.org/10.47526/2021-4/2664-0686.12> (In Russ.).
 15. **Ordabaev, A.** (2017). Problems of studying, protecting and restoring architectural monuments on the example of the Mausoleum of Khoja Ahmed Yasawi [Problemy` izucheniya, okhrany` i restavraczii pamyatnikov arkhitektury` na primere Mavzoleya Khodzhi Akhmeda Yasavi], Video lecture (Full printout of the lecture / S. Romashkina), 9 Mapra. Retrieved from: <https://vlast.kz/gorod/22023-problemy-izucenia-ohrany-i-restavracii-pamatnikov-arhitektury-na-primere-mavzolea-hodzi-ahmeda-asavi.html> (In Russ.).
 16. **Patsevich, G. I.** (1950). Repair and restoration of the mausoleum-mosque of Khoja Ahmed Yasawi in 1939-1941 [Remont i restavracziya mavzoleya-mecheti Khodzha Akhmeda Yassavi v 1939-1941 gg.], Proceedings of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR. Architectural Series, 2, 95-100. (In Russ.).
 17. **Ratiya, S. E.** (1950). Bi bi-Khanim Mosque in Samarkand: research and restoration experiments [Mechet` Bibi-Khany`m v Samarkande: issledovaniya i restavracionny`e opy`ty`], Moscow: State Publishing House of Architecture and Urban Planning, 1-108. (In Russ.).
 18. **Samoilov, K., Kuspangaliyev, B., Sadvokasova, G., & Akhmedova, A.** (2023). The Version of the Composition of the Mausoleum-Khanaka Khoja Ahmed Yassawi Main Facade in Turkestan. *Heritage*, 6, 1344-1377. <https://doi.org/10.3390/heritage6020074>

19. **Tuyakbayeva, B. T.** (1989). Epigraphic decoration of the architectural complex of Ahmed Yasawi [E`pigraficheskiy dekor arkhitekturnogo kompleksa Akhmeda Yassavi]. - Alma-Ata: Oner. (In Russ.).
20. **Yelgin, Y. A.** (1992). Mausoleum of Khoja Ahmed Yasawi: (Bibliographic index) [Mavzolej Khodzhi Akhmeda Yasavi: (Bibliograficheskiy ukazatel`)], Shimkent, 1-48. (In Russ.).
21. **Yelgin, Y. A.** (2013). Archaeological and historical-architectural studies of the mausoleum of Khoja Ahmed Yasawi: The second half of the 19th century – the middle of the 1950s: (Essays and materials) [Arkheologicheskie i istoriko-arkhitekturny`e issledovaniya mavzoleya Khodzhi Akhmeda Yasavi: Vtoraya polovina 19 v. – seredina 1950-kh godov: (Ocherki i materialy`)], Алматы, 1-225. Retrieved from: <http://tehne.com/library/yolgin-yu-arheologicheskie-i-istoriko-arhitekturnye-issledovaniya-mavzoleya-hodzhi-ahmeda-yasavi-vtoraya-polovina-xix-v-seredina-1950-h-godov-almaty-2013> (In Russ.).
22. **Yelgin, Y. A.** (2018). V.S.Geintzelman and his program of renovation of the mausoleum of Khoja Ahmed Yasvai in 1906-1908 [V.S.Gejnczel` man i ego programma remonta mavzoleya Khodzhi Akhmeda Yassvai v 1906–1908 gg.], Археология Казахстана, 1-2, 201-214. <https://doi.org/10.52967/akz2018.1-2.1-2.201.214> (In Russ.).

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF PARABOLIC AND TRAPEZOIDAL SECTIONS IN IRRIGATION CANALS

Zh.N. Moldamuratov^{1,2,*} , S.M. Kultayeva¹ , O.D. Seitkazinov¹ ,
A.Z. Tukhtamisheva¹ , Zh.A. Ussenkulov³ 

¹International Educational Corporation, 050043, Almaty, Kazakhstan

²Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 195220, St. Petersburg, Russian Federation

³M. Auezov South Kazakhstan University, 160012, Shymkent, Kazakhstan

Abstract. *One of the current scientific directions in hydraulic engineering is to give irrigation canals a hydraulically and statically stable cross-sectional shape in the form of the most advantageous parabolic profile. This approach allows maximizing the sediment transport capacity of the flow and significantly reducing the time and costs of construction and maintenance works, using optimization criteria for next-generation machinery and mechanisms. The significance of this research lies in developing a new concept for designing, constructing, and operating irrigation canals in hydraulic engineering systems with cross-sectional shapes that are both hydraulically and statically stable. These shapes aim to maximize sediment transport capacity, ensure ecological sustainability of natural-technical basin systems, and contribute to national food security. The objects of study are hydraulic engineering structures, specifically the inter-farm canals of irrigation systems within the Syr Darya river basin in the southern region of the Republic of Kazakhstan. For the study, methods were used including stability analysis of earth slopes using circular-cylindrical sliding surfaces, methods based on analogy between shear curves and slopes, and methods based on the theory of limit equilibrium. Calculations have demonstrated the advantages, including increased resistance to cross-section deformation, reduced earthwork volumes during irrigation canal construction and cleaning by 20-25%, decreased materials and work volume for possible lining by 13-18%, narrower canal top width and land acquisition zones by 11-17%, lower labor costs by 13-16%, reduced construction costs by 14-18%, and decreased specific adjusted costs by 15-18%.*

Keywords: *irrigation canals, hydraulic structures, slopes, Plaxis 3D.*

***Corresponding author**

Zhangazy Moldamuratov, e-mail: zhanga_m_n@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-10>

Received 05 February 2024; Revised 29 March 2024; Accepted 01 June 2024

СУАРУ КАНАЛДАРЫНЫҢ ПАРАБОЛАЛЫҚ ЖӘНЕ ТРАПЕЦИЯ ТӘРІЗДІ ҚИМАЛАРЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

Ж.Н. Молдамұратов^{1,2,*} , Ш.М. Құлтаева¹ , О.Д. Сейтқазинов¹ ,
А.З. Тухтамишева¹ , Ж.А. Үсенқұлов³ 

¹Халықаралық білім беру корпорациясы, 050043, Алматы, Қазақстан

²Ұлы Петр Санкт-Петербург политехникалық университеті, 195220,
Санкт-Петербург, Ресей Федерациясы

³М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, 160012, Шымкент, Қазақстан

Аңдатпа. Гидротехникадағы қазіргі ғылыми бағыттардың бірі суару каналдарына ең тиімді параболалық профиль түрінде гидравликалық және статикалық тұрақты көлденең қима пішінін беру болып табылады. Бұл тәсіл ағынның шөгінділерді тасымалдау қабілетін барынша арттыруға және жаңа буын машиналары мен механизмдерін оңтайландыру критерийлерін қолдана отырып, құрылыс және техникалық қызмет көрсету жұмыстарының уақыты мен шығындарын едәуір қысқартуға мүмкіндік береді. Бұл зерттеудің маңыздылығы гидравликалық және статикалық тұрақты көлденең қимасы бар гидромелиоративтік жүйелердегі суару каналдарын жобалау, салу және пайдалану бойынша жаңа тұжырымдаманы әзірлеуде жатыр. Бұл нысандар шөгінділерді тасымалдау қабілетін барынша арттыруға, табиғи-техникалық бассейн жүйелерінің экологиялық тұрақтылығын қамтамасыз етуге және ұлттық азық-түлік қауіпсіздігіне үлес қосуға бағытталған. Зерттеу объектілері - гидротехникалық құрылымдар, атап айтқанда Қазақстан Республикасының оңтүстік аймағындағы Сырдария өзені бассейніндегі суару жүйелерінің шаруашылықаралық каналдары болып табылады. Зерттеу үшін дөңгелек цилиндрлік жылжымалы беттерді қолдана отырып, жер беткейлерінің тұрақтылығын талдауды, ығысу қисықтары мен беткейлері арасындағы ұқсастыққа негізделген әдістерді және шекті тепе-теңдік теориясына негізделген әдістерді қамтитын әдістер қолданылды. Есептеулер нәтижесі артықшылықтарды көрсетті, соның ішінде көлденең қиманың деформациясына төзімділіктің жоғарылауы, суару арналарын салу және тазалау кезінде жер жұмыстары көлемінің 20-25%-ға қысқаруы, ықтимал жабын материалдары мен жұмыс көлемінің 13-18% - ға қысқаруы, каналдың жоғарғы беті ені мен жерді алу аймақтарының кішіреюі 11-17% - ға, еңбек шығындарының 13-16% - ға азаюы, құрылыс шығындарының 14-18% - ға азаюы және нақты түзетілген шығындардың 15-18% - ға төмендеуі.

Түйін сөздер: суару каналдары, гидротехникалық құрылымдар, беткейлер, *Plaxis 3D*.

*Автор-корреспондент

Жанғазы Молдамұратов, e-mail: zhanga_m_n@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-10>

Алынды 05 ақпан 2024; Қайта қаралды 29 наурыз 2024; Қабылданды 01 маусым 2024

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ И ТРАПЕЦЕИДАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

Ж.Н. Молдамуратов^{1,2,*} , Ш.М. Култаева¹ , О.Д. Сейтказинов¹ ,
А.З. Тухтамишева¹ , Ж.А. Усенкулов³ 

¹Международная образовательная корпорация, 050043, Алматы, Казахстан

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195220,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

³Южно-Казахстанский университет имени М.Ауезова, 160012, Шымкент, Казахстан

Аннотация. Одним из современных научных направлений в гидротехнике является придание оросительным каналам гидравлически и статически устойчивой формы поперечного сечения в виде наивыгоднейшего параболического профиля. Такой подход позволяет максимально увеличить пропускную способность потока для транспортировки наносов и значительно сократить время и затраты на строительные и ремонтные работы, используя критерии оптимизации для машин и механизмов нового поколения. Значимость этого исследования заключается в разработке новой концепции проектирования, строительства и эксплуатации оросительных каналов гидромелиоративных систем с формами поперечного сечения, которые являются как гидравлически, так и статически устойчивыми. Параболические формы направлены на то, чтобы максимально увеличить пропускную способность каналов, обеспечить экологическую устойчивость природно-технических систем бассейнов и способствовать национальной продовольственной безопасности. Объектами исследования являются гидротехнические сооружения, в частности, межхозяйственные каналы гидромелиоративных систем в бассейне реки Сырдарья в южном регионе Республики Казахстан. Для исследования были использованы методы, включающие анализ устойчивости земляных откосов с использованием круглоцилиндрических поверхностей скольжения, методы, основанные на аналогии между кривыми сдвига и откосами, и методы, основанные на теории предельного равновесия. Расчеты продемонстрировали преимущества, в том числе повышенную устойчивость к деформации поперечного сечения, сокращение объемов земляных работ при строительстве и очистке оросительных каналов на 20-25%, уменьшение объема материалов и работ для возможной облицовки на 13-18%, уменьшение ширины верхнего края канала и зон отвода земли на 11-17%, снижение затрат на рабочую силу на 13-16%, снижение затрат на строительство снизились на 14-18%, а удельные скорректированные затраты - на 15-18%.

Ключевые слова: оросительные каналы, гидротехнические сооружения, откосы, Plaxis 3D.

*Автор-корреспондент

Жангазы Молдамуратов, e-mail: zhanga_m_n@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-10>

Поступило 05 февраля 2024; Пересмотрено 29 марта 2024; Принято 01 июня 2024

ACKNOWLEDGEMENTS/SOURCE OF FUNDING

The study was financially supported by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan as part of the scientific project No. AP13268964.

CONFLICT OF INTEREST

The authors state that there is no conflict of interest.

АЛҒЫС / ҚАРЖЫЛАНДЫРУ КӨЗІ

Зерттеуге Қазақстан Республикасы Ғылым және Жоғары Білім Министрлігінің Ғылым Комитеті №AP13268964 ғылыми жоба аясында қаржылай қолдау көрсетілді.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

БЛАГОДАРНОСТИ/ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование было проведено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках научного проекта № AP13268964.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

1 INTRODUCTION

Over the past 50 years, the world has produced more industrial and agricultural products than in all previous human history, naturally leading to intensive exploitation of water resources. In the past century, global water consumption has increased more than twelvefold, doubling approximately every 20 years (**Li et al., 2022**).

Sustainable water use is achieved through optimal satisfaction of the water needs of economic sectors and the population. Effective justification of water resource utilization in river basins is based on integrated ecological and economic criteria. Addressing this complex task involves numerous risks: natural and anthropogenic factors, continuous and unjustified growth in water consumption, and pollution of water sources (**Li et al., 2022**).

For most of Kazakhstan's irrigation systems, water is abstracted from mountain and foothill rivers that transport significant sediment loads, leading to canal deformations and reduced canal capacity. Over the last 20 years, the operational reliability of many hydraulic structures has declined, posing ecological and social threats (**Moldamuratov et al., 2014**).

According to the Water Management Committee of the Ministry of Water Resources and Irrigation of the Republic of Kazakhstan, during the peak of irrigated agriculture development, annual sediment removal volumes amounted to about 50 million m³; currently, this volume is projected to be around 25-27 million m³ (**Moldamuratov et al., 2021**).

Restoring the hydraulic components of Kazakhstan's agro-industrial complex is directly linked to the need for reconstruction and construction of hydraulic structures - the main elements of the irrigation network (**Moldamuratov et al., 2021**).

Studying the operational experience of irrigation canals, their kinematic structure, and conditions for forming stable canals to address deficits in water resources due to siltation and reduced capacity is extremely relevant (**Moldamuratov et al., 2022**).

The complexity of river and canal formation processes, addressing the pressing issue of canal formation, must be considered in conjunction with sediment transport capacity issues. This approach will enable forecasting of potential changes in morphodynamic canal types, their cross-sectional characteristics, erosion rates of banks and bed, and sediment ingress into irrigation canals (**Ikramov et al., 2023**).

Analysis of existing technological processes for constructing and maintaining Kazakhstan's hydraulic reclamation system canals indicates the need to reduce sediment removal volumes, lower their associated costs, and enhance the quality of operational measures for irrigation canals.

The increasing volumes of construction and repair-restoration works, the need to reduce their execution times, and enhance labor productivity necessitate advancements in the processes for constructing and maintaining hydraulic reclamation system canals in a reliable condition, alongside other technical progress directions (**Abdrzakov et al., 2023**).

A significant portion of operational activities for maintaining hydraulic reclamation systems in working order involves canal desilting. The maximum annual volume of desilting works carried out in recent years solely on the hydraulic reclamation systems in southern Kazakhstan exceeds 25 million cubic meters.

According to the Water Management Committee of the Ministry of Water Resources and Irrigation of the Republic of Kazakhstan, the total length of hydraulic reclamation system canals in the country has now reached 60,000 kilometers, with nearly 88% of them passing through earth canals. The length of canals of inter-farm significance exceeds 12,000 kilometers. The primary workload in

operating Kazakhstan's hydraulic reclamation systems falls on irrigation and collector-drainage canals (**Moldamuratov et al., 2023**).

The aim of this study is to enhance the technology of canal construction, enabling improvement in sediment transport capacity and ensuring hydraulic and static stability of their cross-sectional shape over extended periods of operation (**Arifjanov et al., 2020**).

To achieve the stated goal, the following tasks need to be addressed:

- Investigate the impact of operational factors on the sediment transport capacity of earth canals in canals.

- Systematize the structural features and statistical parameters of irrigation canals in the southern region of the Republic of Kazakhstan and their influence on the selection criteria for machinery and mechanisms.

- Study the stability of slopes of parabolic-profile irrigation canals.

- Develop methodological approaches to formulating the most advantageous cross-sectional profile for canals.

- Design a methodology and principles for selecting earthmoving equipment for construction and maintenance of hydraulic reclamation system canals.

- Develop technical solutions to ensure operational reliability in the functioning of hydraulic reclamation system canals.

2 LITERATURE REVIEW

When designing canals, the dimensions of their canals and hydraulic characteristics must meet specific requirements based on their intended use. For irrigation canals designed in soil, these requirements boil down to ensuring that the cross-sectional shape remains resistant to erosion, free from siltation, and maintains overall canal stability. The reliability of a canal's operation, free from siltation and erosion, largely depends on establishing a stable, deformation-resistant cross-sectional shape and corresponding hydraulic characteristics (**Kosichenko et al., 2020**).

Analysis of the canal regime of canals constructed in soil or formed through self-cleansing has shown that their canals, much like river canals, are susceptible to free deformations that manifest in the self-formation of stable shapes and sizes (**Namaee et al., 2013**).

The process of forming a stable canal follows a general developmental scheme akin to natural river canal processes but occurs under the influence of relatively constant flow over time. It actively progresses until the canal dimensions and shape establish a flow velocity structure that achieves a state of equilibrium conducive to the canal bed's soil (**Moghazi et al., 1997**).

Field observations have established that trapezoidal cross-sectional shapes are unstable: the slopes of such canals deform, angular spaces silt up and become overgrown, ultimately altering the initial canal shape completely. The canal may take on irregular contours in the upper part and curvilinear shapes in the lower part over time (**Swamee et al., 2005**).

This understanding underscores the importance of designing irrigation canals with stable cross-sectional profiles that can resist deformation and maintain their hydraulic efficiency over extended periods of operation, thus ensuring effective water flow and minimal maintenance needs (**Vatankhah et al., 2011**).

K. Roushangar notes: "In straight sections within homogeneous soils, a symmetric, parabolic canal is formed. In cohesive soils, the banks have steeper slopes, and the cross-sectional shape approaches an elliptical curve" (**Roushangar, K. et al., 2021**)

M.N. Sennikov points out that cross-sectional profiles of rivers on straight planar sections often take the form of a semi-ellipse or higher-degree parabola (from second to twelfth). These profiles are commonly found in mountainous and plain river sections where the bed consists of erodible materials and the banks are composed of less erodible soils (Sennikov et al., 2014).

Research by C.R. Suribabu indicates that in alluvial soils, river canal sections exhibit shapes defined by parabolas of various orders, ranging from second to twelfth (Suribabu et al., 2010).

The materials from research conducted under the guidance of O.A. Baev (Baev, 2023) on a canal to study its resistance to erosion and silting showed that a parabolic section (described by a fifth-order parabola) best fits the actual canal section (Table 1).

Table 1

Comparison Table of Actual Canal Section Parameters with Calculated Parabolic, Elliptical, and Semi-Circular Sections (author's material)

Section profiles	Relative width of the canal by water level, β	Specific wetted perimeter, χ_0	Canal width by water level, B, m	Canal filling depth, h, m	The area of the living section, ω , m ²	Wetted perimeter, X, m	Hydraulic radius, R, m	Flow rate, Q , m/s
The actual	7,18	10,8	10,8	1,25	8,76	9,71	0,9	0,473
Parabolic % of discrepancies	7,2 +0,279	10,3 -4,63	8,9 -0,892	1,23 -1,6	9,1 +3,88	9,65 -0,62	0,94 +4,44	0,488 +3,16
Elliptical % of discrepancies	6,75 -5,98	10,4 -3,7	8,8 -2	1,31 +4,6	9,12 4,11	9,74 +0,31	0,94 +4,44	0,487 +2,96
Semicircular % of discrepancies	4,75 -33,8	8,54 -20,9	7,8 -13,15	1,64 +31,2	8,7 -0,685	8,6 +11,45	1,01 +12,2	0,512 +8,28

It is important to note the significance of correctly choosing the slope alignment in irrigation canal construction. Z. Ma asserts that proper slope alignment of irrigation canals is crucial. Steep slopes lead to erosion and siltation, clogging the canal, while shallow slopes increase earthwork volumes and reduce the area available for easements (Ma et al., 2019).

The cross-sectional profile of a canal, influenced by the physical-mechanical properties of soil, groundwater conditions, flow erosion, and other factors, tends towards a more stable curved shape. This shape often aligns closely with a parabolic or semi-elliptical form.

Lopez-Medina T. highlights that trapezoidal-sectioned canals without reinforcement can only be constructed in dry or cohesive soils that resist rapid saturation (such as peat, structurally intact clay, or non-podzolized coarse loam). Even in uniformly homogeneous soils, polygonal profiles are more advantageous. In such cases, steeper slopes are applied to the upper layer of the slope, and gentler slopes to the lower layers. Polygonal-sectioned canals can easily adopt semi-elliptical or parabolic outlines without compromising their stability (Lopez-Medina et al., 2021).

V.V. Nalimov research has identified stable slope forms using actual geotechnical parameters of slope soils. Field studies have shown that canal slope profiles stabilize over time, often resembling a parabolic shape (Ejidike et al., 2023).

Research by I.S. Lapidovskaya has established that the main threat to the stability of an open canal is the development of soil upheaval zones within its boundaries. For trapezoidal canal profiles designed in projects, stable slope alignment that prevents upheaval from the canal boundaries often results in significant loss of useful area. A more economical polygonal section is recommended,

where upheaval zones are eliminated by transitioning to a gentler slope at a critical depth (**Moldamuratov et al., 2023**).

Research by Ibadi-Zade on canal stability demonstrated that during operation, the construction profile of a canal deforms and adopts a stable curved shape. For instance, the K-18 canal in southern Kazakhstan, after one year of operation, deformed and assumed a curved shape, with a reduction in depth by 31.5%. Ibadi-Zade proposed a method for calculating the stable cross-sectional profile of a parabolic canal, aligning with the profile of a natural canal (**Moldamuratov et al., 2023**).

3 MATERIALS AND METHODS

To conduct the research, the following methods were used:

1. Method for calculating the stability of slopes of earth structures using circular-cylindrical sliding surfaces.
2. Method based on analogy between shear curves and slopes.
3. Method based on the theory of limit equilibrium.

Modeling was performed using the PLAXIS 3D software suite.

For the calculation of irrigation canal designs, the following initial data are adopted: the canals have construction depths of 1.5, 2, and 3 meters respectively; hydraulic parameters of the canals such as discharge, roughness coefficient, and slope are uniform; the canals are designed in half-cut and half-fill with a bedding height equal to half the canal depth; soils include medium loam and light loam; the canal profile is a quadratic parabola.

In **Tables 2, 3** and **4** the main parameters for calculation and modeling are provided. **Figures 1** and **2** show the dependencies of additional parameters on the channel depth for trapezoidal and parabolic profiles.

Table 2

Technological parameters of irrigation network canals (author's material)

Type of profile section	Canal Parameters							
	Flow rate (m ³ /s) Q	Canal depth (m) h _k	Filling depth (m) h	Bottom width (m) b	Laying of slopes (parabola parameter) m	Width at the top B _k	The perimeter of the section (m ²) χ_k	Cross-sectional area S _k
Trapezoidal	1,65	1,5	1,2	0,8	1:1,25	4,55	5,6	4,01
Parabolic	1,62	1,5	1,2	-	P=1,02	3,5	4,85	3,5
Trapezoidal	4,16	2,0	1,7	1,0	1:1,5	7	8,2	8
Parabolic	4,18	2,0	1,7	-	P=1,66	5,16	6,84	6,88
Trapezoidal	14,26	3,0	2,7	2,0	1:1,75	12,7	14,1	21,75
Parabolic	14,13	3,0	2,7	-	P=4,16	10	12	20

Tables 3

Changes in parameters of irrigation network canals [author’s material]

Changes			Change in the total cross-sectional area of the structure (m ² /%)
Width at the top (m/%)	Perimeter (m/%)	Cross-sectional areas (m ² /%)	
ΔB_k	$\Delta \chi_k$	ΔS_k	$\Sigma \Delta S$
1,06/13,4	0,75/13,3	0,51/12,7	-
-	-	-	1,35/12,3
1,84/26,2	1,36/16,6	1,12/14	-
-	-	-	2,96/15,17
2,5/20	2,1/14,9	1,75/8,04	-
-	-	-	4,25/8,78

Table 4

Values of parameters of irrigation canals of parabolic ($\chi^2=2py$) and trapezoidal cross-section profiles (author’s material)

Canal depth, m	Laying of slopes	Parabola parameter p for canals along the bottom:							
		0,4 m	0,6 m	0,8 m	1,0 m	1,5 m	2,0 m	2,5 m	3 m
1,5	1:1	0,56	0,7	0,83	1,02	-	-	-	-
	1:1,25	0,7	0,85	1,02	1,17	-	-	-	-
	1:1,5	0,75	0,88	1,1	1,26	-	-	-	-
	1:1,25	-	-	1,13	1,35	1,75	2,17	-	-
2,0	1:1,5	-	-	1,38	1,66	2,03	2,56	-	-
	1:1,75	-	-	1,56	1,85	2,25	2,8	-	-
	1:2	-	-	1,75	2,03	2,45	3,02	-	-
3,0	1:1,5	-	-	-	-	2,66	3,37	3,92	4,5
	1:1,75	-	-	-	-	3,01	3,8	4,5	5,13
	1:2	-	-	-	-	3,48	4,16	4,95	5,56

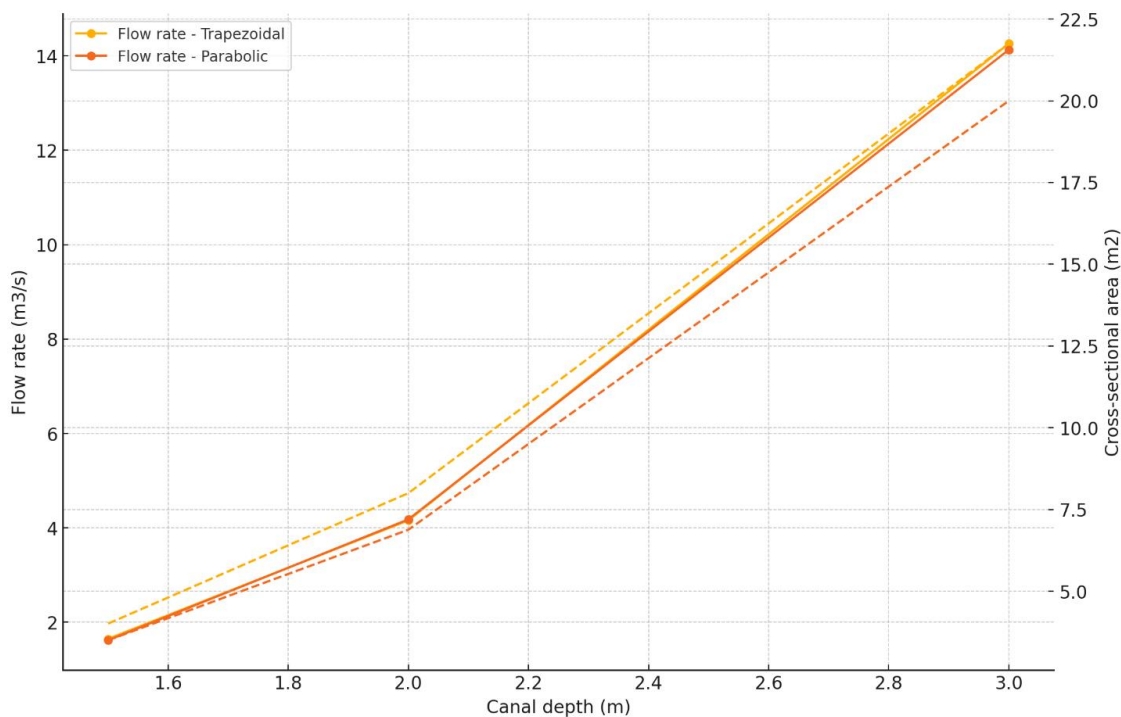


Figure 1 – Graph of the dependence of water flow rate and cross-sectional area on canal depth for trapezoidal and parabolic profiles [author’s material]

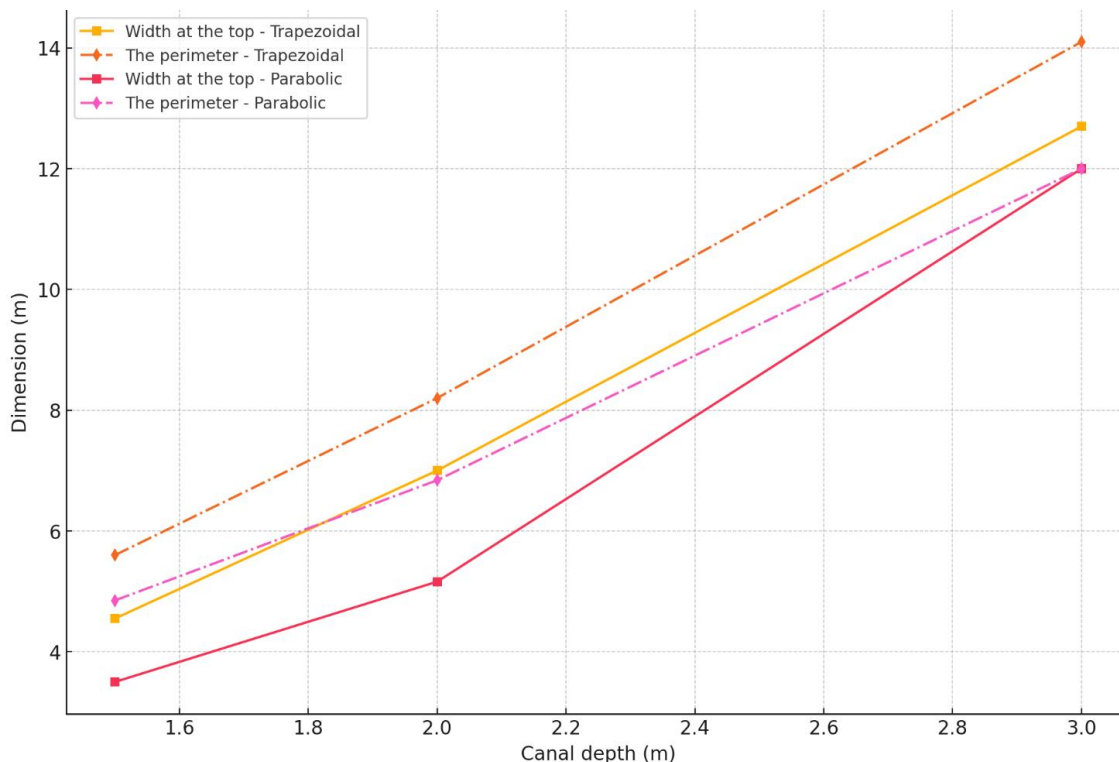


Figure 2 – Width at the top and the perimeter of the section vs Canal depth [author's material]

4 RESULTS AND DISCUSSION

A comparative analysis of the calculated parameters of canals shows that using parabolic section canals significantly reduces the volume of earthworks compared to trapezoidal section canals. Firstly, this reduction is due to the smaller cross-sectional area of the canal by 8.04...14%, which provides greater savings in earthworks than just the reduction in the cross-sectional area of the flow, because the dry slope of a parabolic profile canal is steeper than that of a trapezoidal canal. Secondly, the area of the bedding section is reduced by 12.0...26.0%. This reduction in bedding area is achieved because the top width of the parabolic profile canal is 20...26.2% narrower than that of the trapezoidal canal, thus allowing a corresponding reduction in bedding width. The nature of changes in the cross-sectional areas of canals and canal beddings for parabolic and trapezoidal profiles shows that with increasing canal depth, the difference in cross-sectional areas and savings in earthwork volumes increase (Figures 3, 4 and 5).

In the practice of constructing hydraulic structures, particularly in the construction of irrigation canals for water management systems, cross-sectional shapes commonly include trapezoidal, parabolic, and polygonal forms. Trapezoidal cross-sections are widely adopted due to their ease of mechanized construction, which has contributed to their widespread use. On the other hand, parabolic cross-section canals have not seen extensive application primarily because specialized equipment for their construction is lacking. They are typically used only in cases where material savings from lining justify their use and account for their specific cross-sectional shape.

For example, in the construction of canal networks, reducing the perimeter of the cross-section with parabolic shapes can result in up to 20% material savings compared to trapezoidal sections due to reduced lining requirements.

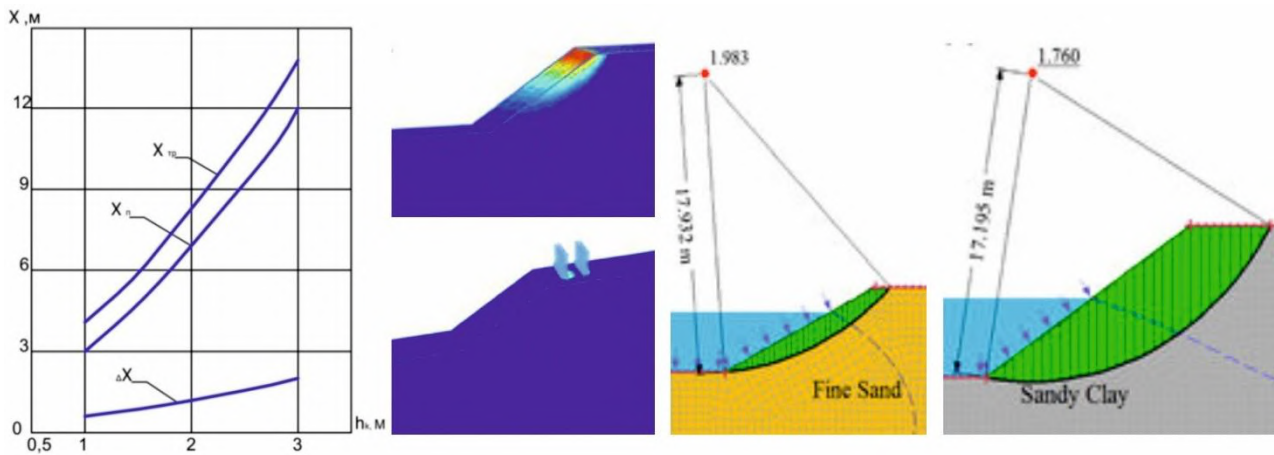


Figure 3 - Graph of changes in the perimeter of the trapezoidal χ_{TP} and parabolic χ_n profiles of canals of different depths h_k (author's material)

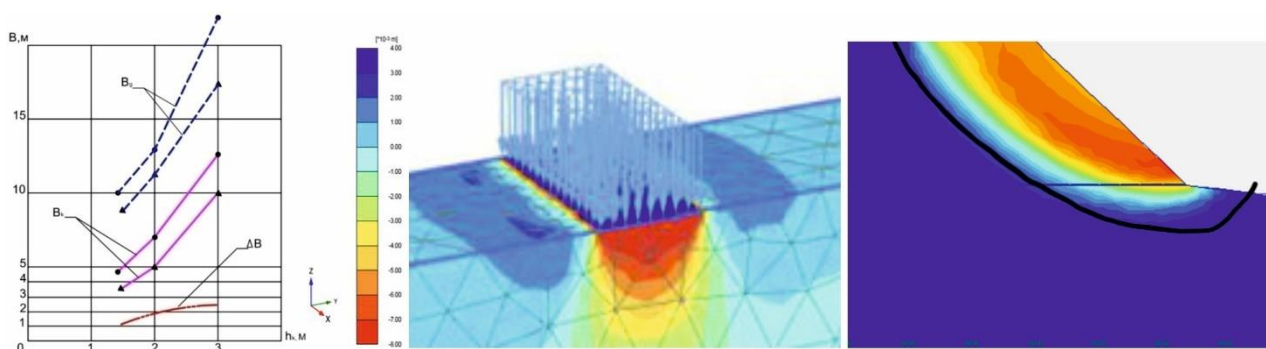


Figure 4 - Graph of changes in the width of the canal B_k and the cushion along the top B_g of the trapezoidal and parabolic profiles of different depths:
 ● – trapezoidal; ▲ – parabolic canals (author's material)

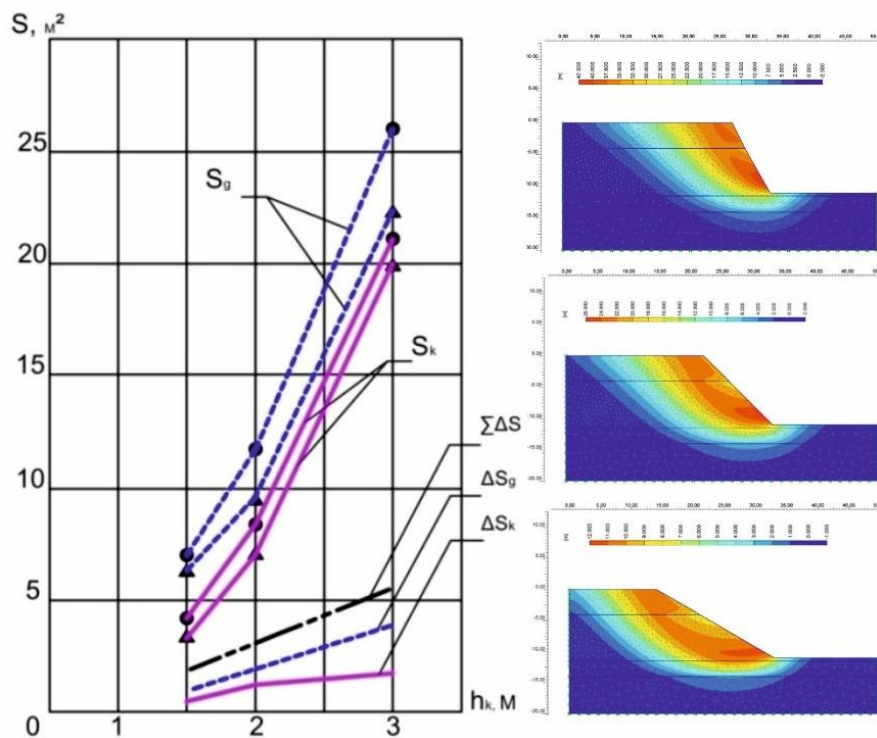


Figure 5 - Graph of changes in the area of the recess sections S_k and dams S_g canals of trapezoidal and parabolic profiles from depth h : ● – trapezoidal profile; ▲ – parabolic profile (author's material)

The analysis of research shows that the most straightforward and acceptable methods for calculating the stability of earth slopes in irrigation canals are those based on the analogy between shear curves and slope stability. Methods based on the theory of limit equilibrium for calculating the stability of earth structures are the most rigorous and accurate. However, these methods are not widely applied in practice primarily due to the complexity of calculations and the specificity of assessing the stability of a given slope based on the critical load uniformly distributed on the crest.

The analysis of the equal-strength slope curves for irrigation canals with depths of 1.5, 2, and 3 meters, and parabolic slope profiles, shows that the adopted parabolic canal profiles have more stable slopes in cohesive soils with a cohesion value $K_c \geq 1$ t/m². Calculations performed to determine the slope stability factor for three scenarios (flooded slope, sudden complete water drawdown, and zero boundary neutral pressure) demonstrated that the minimum factor of safety against slope failure (shear strength) is $F_s = 1.42$ for an irrigation canal with a depth of 3 meters, with the slope steepness adopted at the maximum steepness in the upper part of the slope ($i = 45^\circ$).

Therefore, irrigation canals with rational parabolic cross-sectional shapes are more resistant to deformations in various soil conditions, especially in less stable soils such as sandy, sandy-loam, and heterogeneous soils. They have smaller cross-sectional areas and reduced construction volumes, wetted perimeter and material volumes, lining works, top width of the canal, and land acquisition areas for the canals.

5 CONCLUSIONS

Based on the conducted research on hydraulic assessment considering hydromorphological factors, it can be concluded that irrigation canals with parabolic cross-sectional shapes are optimal according to the following parameters:

1. Increased resistance against deformation of the cross-section.
2. Reduction in earthwork volumes during construction and cleaning of irrigation canals by 20-25%.
3. Decrease in materials and work volume for possible lining (strengthening) of irrigation canals by 13-18%.
4. Decrease in the top width of the canal (land acquisition zones) of irrigation canals by 11-17%.
5. Reduction in labor costs by 13-16 %.
6. Decrease in construction costs (production costs) by 14-18%.
7. Decrease in specific adjusted costs by 15-18%.

REFERENCES

1. **Li, M., Ibrayev, T., Balgabayev, N., Alimzhanov, M., & Zhakashov, A.** (2022). Water distribution in channels of the mountainous and piedmont area. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*, 6(456), 96–105. <https://doi.org/10.32014/2518-170X.241>
2. **Ikramov, N., Kasimov, F., Mukhamadjonov, A., & Majidov, T.** (2023). Intelligent device for measuring water level in irrigation channels of constant section. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 401). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340101012>
3. **Abdrzakov, F. K., Rukavishnikov, A. A., Mikheeva, O. V., & Mirkina, E. N.** (2023). Filtration in canals with an earthen bed and new methods of slope stabilization. *The Agrarian Scientific Journal*, (6), 107–114. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i6pp107-114>

4. **Arifjanov, A., & Fatxullaev, A.** (2020). Natural Studies for Forming Stable Channel Sections. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1425). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1425/1/012025>
5. **Kosichenko, Y. M., & Baev, O. A.** (2020). Hydraulic efficiency of irrigation channels in the course of operation. *Vestnik MGSU*, (8), 1147–1162. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.8.1147-1162>
6. **Namaee, M. R., Jalaledini, M. S., Habibi, M., Yazdi, S. R. S., & Azar, M. G.** (2013). Discharge coefficient of a broad crested side weir in an earthen channel. *Water Science and Technology: Water Supply*, 13(1), 166–177. <https://doi.org/10.2166/ws.2012.081>
7. **Moghazi, H. E. M., & Ismail, E. S.** (1997). A study of losses from field channels under arid region conditions. *Irrigation Science*, 17(3), 105–110. <https://doi.org/10.1007/s002710050028>
8. **Swamee, P. K., & Rathie, P. N.** (2005). Exact Equations for Critical Depth in a Trapezoidal Canal. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131(5), 474–476. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9437\(2005\)131:5\(474\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9437(2005)131:5(474))
9. **Moldamuratov, Zh. N., & Asylbekov, A. Sh.** (2022). Cross-section channels of hydraulically and statically stable shape. *Bulletin of Kazakh Leading Academy of Architecture and Construction*, 86(4), 199–209. <https://doi.org/10.51488/1680-080x/2022.4-20>
10. **Vatankhah, A. R., & Easa, S. M.** (2011). Explicit solutions for critical and normal depths in channels with different shapes. *Flow Measurement and Instrumentation*, 22(1), 43–49. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2010.12.003>
11. **Moldamuratov, Zh. N., Kultayeva, S. M., & Assylbekov, A. Sh.** (2023). Full-scale inspection of the technical condition of lined inter-farm canals. *Bulletin of Kazakh Leading Academy of Architecture and Construction*, 87(1), 229–239. <https://doi.org/10.51488/1680-080x/2023.1-22>
12. **Vatankhah, A. R.** (2013). Explicit solutions for critical and normal depths in trapezoidal and parabolic open channels. *Ain Shams Engineering Journal*, 4(1), 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2012.05.002>
13. **Jakiyayev, B. D., Moldamuratov, Z. N., Bayaliyeva, G. M., Ussenbayev, B. U., & Yeskermessov, Z. E.** (2021). Study of local erosion and development of effective structures of transverse bank protection structures. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9(3), 457–473. <https://doi.org/10.21533/pen.v9i3.2191>
14. **Roushangar, K., Nouri, A., Shahnazi, S., & Azamathulla, H. M.** (2021). Towards design of compound channels with minimum overall cost through grey wolf optimization algorithm. *Journal of Hydroinformatics*, 23(5), 985–999. <https://doi.org/10.2166/hydro.2021.050>
15. **Sennikov, M. N., Omarova, G. E., & Moldamuratov, Z. N.** (2014). Study of the development of soil in the formation of channels hydraulic and static stability of cross-sectional shapes. *World Applied Sciences Journal*, 30(1), 99–104. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2014.30.01.14008>
16. **Suribabu, C. R.** (2010). Differential evolution algorithm for optimal design of water distribution networks. *Journal of Hydroinformatics*, 12(1), 66–82. <https://doi.org/10.2166/hydro.2010.014>
17. **Baev, O. A.** (2023). Justification of hydraulic calculation methods for irrigation canals. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*, 13(3). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-274-295>
18. **Ma, Z., Wu, Z., Li, T., Han, Y., Chen, J., & Zhang, L.** (2019). A simplified computational model for the location of depth average velocity in a rectangular irrigation channel. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(16). <https://doi.org/10.3390/app9163222>
19. **Lopez-Medina, T., Mendoza-Ávila, I., Contreras-Barraza, N., Salazar-Sepúlveda, G., & Vega-Muñoz, A.** (2021). Bibliometric mapping of research trends on financial behavior for sustainability. *Sustainability*, 14(1), 117. <https://doi.org/10.3390/su14010117>
20. **Ejidike, C. C., & Mewomo, M. C.** (2023). Benefits of adopting smart building technologies in building construction of developing countries: Review of literature. *SN Applied Sciences*, 5(2), 52. <https://doi.org/10.1007/s42452-022-05262-y>

SELECTION OF THE OPTIMAL MACHINERY COMPLEX FOR CONSTRUCTING IRRIGATION CANALS WITH A PARABOLIC PROFILE

Zh.N. Moldamuratov^{1,2,*} , M.N. Sennikov³ , O.D. Seitkazinov¹ , G.S. Abieva¹ ,
Zh.E. Yeskermessov³ 

¹International Educational Corporation, 050043, Almaty, Kazakhstan

²Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 195220, St. Petersburg, Russian Federation

³M.Kh. Dulaty Taraz Regional University, 080000, Taraz, Kazakhstan

Abstract. *An analysis of the experience of dredger operation in various industries allows us to identify the following main problems that need to be addressed to improve their efficiency: improvement of papillation schemes and structural enhancement of the main equipment from a hydraulic perspective. The current soil intake devices, suction lines, and soil pumps do not always fully meet the specific requirements of soil development conditions. The objectives of the present research were to propose ways to enhance the performance of systems for automatic control of dredger work movements and automatic regulation of the soil intake process. These proposals aim to create a parabolic cross-sectional shape of the canal during development, ensure the highest productivity and lowest energy consumption, as well as low work costs, using modern control devices. The effect of the proposed technology for canal development using dredgers with automated papillation consists of the following: providing the developed canals with a stable cross-sectional shape; automating the papillation of the dredger and optimizing the operation of the soil pump; Implementing shift-based production accounting; using soil meters in the automated system. Giving the developed canal a cross-sectional shape that is stable in both hydraulic and static aspects has allowed for the following benefits: increased sediment transport capacity of the flow, while simultaneously reducing the cross-sectional area, growth of vegetation, water level fluctuations, water losses, and the right-of-way strip; reduced the volume of cleaning work by up to 20%; increased the period between cleanings by ensuring uniform flow movement; enhanced the productivity of dredgers by concentrating sediment on the canal slopes without changing the overall volume of cleaning.*

Keywords: *irrigation canals, dredging shells, slopes, cleaning, reconstruction and repair.*

***Corresponding author**

Zhangazy Moldamuratov, e-mail: zhanga_m_n@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-11>

Received 14 February 2024; Revised 19 March 2024; Accepted 04 June 2024

ПАРАБОЛА ПІШІНДІ СУАРУ КАНАЛДАРЫН САЛУҒА АРНАЛҒАН ОҢТАЙЛЫ МАШИНАЛАР КЕШЕНІН ТАҢДАУ

Ж.Н. Молдамұратов^{1,2,*} , М.Н. Сенников³ , О.Д. Сейтқазинов¹ , Г.С. Абиева¹ ,
Ж.Е. Ескермесов³ 

¹Халықаралық білім беру корпорациясы, 050043, Алматы, Қазақстан

²Ұлы Петр Санкт-Петербург политехникалық университеті, 195220,
Санкт-Петербург, Ресей Федерациясы

³М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, 080000, Тараз, Қазақстан

Андатпа. Әр түрлі салалардағы жерсорғы снарядтарын пайдалану тәжірибесін талдау олардың тиімділігін арттыру алдында тұрған келесі негізгі проблемаларды анықтауға мүмкіндік береді: папиллондау схемаларын жетілдіру; гидравлика тұрғысынан негізгі жабдықты конструктивті жақсарту. Қазіргі уақытта қолданыстағы жерсорғы желілері, топырақ сорғылары әрдайым топырақты игеру шарттарының нақты талаптарына толық сәйкес келе бермейді. Осы зерттеулердің міндеттері арнаны тазалау процесінде көлденең қиманың параболалық пішінін беруге, ең жоғары өнімділік пен ең аз энергия сыйымдылығын, сондай-ақ заманауи бақылау құралдарын пайдалана отырып, жұмыстың төмен құнын қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін жерсорғы снарядының жұмыс қозғалыстарын автоматты басқару жүйелерінің жұмыс қабілеттілігін арттыру және топырақ жинау процесін автоматты реттеу ұсыныстары болды. Автоматтандырылған папиллондауы бар жерсорғыш снарядтармен арналарды әзірлеудің ұсынылған технологиясының әсері мыналардан тұрады: тазаланып жатқан арналарға тұрақты көлденең қима пішінін беру; жерсорғы снарядының папиллонажын автоматтандыру және топырақ сорғысының жұмысын оңтайландыру; сорғының ауысымдық есебін қолдану; автоматтандырылған жүйеде топырақ өлшегіштерді пайдалану. Тазаланып жатқан арнаға гидравликалық және статикалық тұрғыдан тұрақты көлденең қима пішінін беру: көлденең қиманың ауданын, өсуін, су деңгейінің ауытқуын және шығынын, сондай-ақ иеліктен шығару жолағын азайта отырып, ағынның құмды тасымалдау қабілетін арттыруға; тазарту жұмыстарының көлемін 20% - ға дейін азайтуға; ағынның біркелкі қозғалысын қамтамасыз ету есебінен тазарту кезеңін ұлғайтуға; жерсорғы снарядтарының өнімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: суару каналдары, жерсорғы снарядтары, беткейлер, тазарту, қайта жаңғырту және жөндеу.

*Автор-корреспондент

Жанғазы Молдамұратов, e-mail: zhanga_m_n@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-11>

Алынды 14 ақпан 2024; Қайта қаралды 19 наурыз 2024; Қабылданды 04 маусым 2024

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА МАШИН ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

Ж.Н. Молдамуратов^{1,2,*} , М.Н. Сенников³ , О.Д. Сейтказинов¹ , Г.С. Абиева¹ ,
Ж.Е. Ескермесов³ 

¹Международная образовательная корпорация, 050043, Алматы, Казахстан

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195220,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

³Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати, 080000, Тараз, Казахстан

Аннотация. Анализ опыта эксплуатации земснарядов в различных отраслях позволяет выявить следующие основные проблемы, стоящие перед повышением их эффективности: совершенствование схем папильонирования; конструктивное улучшение основного оборудования с точки зрения гидравлики. Существующие в настоящее время грунтозаборные устройства, всасывающие линии, грунтонасосы не всегда полностью отвечают конкретным требованиям условий разработки грунта. Задачами настоящих исследований были предложения повысить работоспособность систем автоматического управления рабочими перемещениями земснаряда и автоматического регулирования процесса грунтозабора, позволяющие в процессе разработки канала придать параболическую форму поперечного сечения, обеспечить наивысшую производительность и наименьшую энергоемкость, а также низкую себестоимость работ, используя современные приборы контроля. Эффект от предложенной технологии разработки каналов землесосными снарядами с автоматизированным папильонированием складывается из следующего: придание разрабатываемым каналам устойчивой формы поперечного сечения; автоматизации папильонажа земснаряда и оптимизации работы грунтового насоса; применение посменного учета выработки; использование в автоматизированной системе грунтомеров. Придание разрабатываемому каналу устойчивой в гидравлическом и статическом отношении формы поперечного сечения позволило: повысить наносотранспортирующую способность потока, при одновременном снижении площади поперечного сечения, зарастания, колебания уровня и потерь воды, а также полосы отчуждения; уменьшить объем очистных работ до 20%; за счет обеспечения равномерного движения потока увеличить межочистный период; повысить производительность земснарядов за счет сосредоточения наносов на откосах канала при неизменности общего объема очистки.

Ключевые слова: оросительные каналы, землесосные снаряды, откосы, очистка, реконструкция и ремонт.

*Автор-корреспондент

Жангазы Молдамуратов, e-mail: zhanga_m_n@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-11>

Поступило 14 февраля 2024; Пересмотрено 19 марта 2024; Принято 04 июня 2024

ACKNOWLEDGEMENTS/SOURCE OF FUNDING

The study was financially supported by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan as part of the scientific project No. AP13268964.

CONFLICT OF INTEREST

The authors state that there is no conflict of interest.

АЛҒЫС / ҚАРЖЫЛАНДЫРУ КӨЗІ

Зерттеуге Қазақстан Республикасы Ғылым және Жоғары Білім Министрлігінің Ғылым Комитеті №AP13268964 ғылыми жоба аясында қаржылай қолдау көрсетілді.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

БЛАГОДАРНОСТИ/ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование было проведено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках научного проекта № AP13268964.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

1 INTRODUCTION

The basis of rational technology and work organization is the comprehensive mechanization of all tasks with the best technical and economic indicators. In this case, all labor-intensive main and auxiliary operations of the technological process must be performed by a machine or a complex of machines. The use of machines in the construction or reconstruction of canals should ensure the highest labor productivity under specific conditions, at the lowest cost and shortest duration of work (Novruzova, 2023).

It should be noted that in the comprehensive mechanization of tasks, the productivity of the entire complex is determined by the productivity of the leading machine (Kadirova, 2023). Other machines involved in performing auxiliary operations and included in the complex should be interrelated by main parameters in such a way as to ensure the uninterrupted operation of the entire complex. The complex should include the minimum number of machines for the given specific working conditions (Wen et al., 2014). The use of machines in construction should be determined by the actual operational productivity and duration of working time (Usmonov et al., 2023). The working time of machines should include the duration of performing technological process operations, moving under their own power along the work front within one construction site or from one site to another, technological breaks in the work of machines, preparation of machines for work at the beginning of the shift and handing them over at the end of the shift, technical maintenance of machines during the shift, and the regulated rest period for the operator during the shift (Novruzova, 2022).

To quantitatively equip the machines needed to carry out the construction or reconstruction of irrigation canals, it is necessary to determine the required number of machine-hours that allow completing the work on the site (Rakhmanin et al., 2020). Then, all work operations should be divided into groups, considering the possibility of performing each operation or group of operations independently of each other in time, but with the necessary technological sequence (Zebardast et al., 2015). This division will make it easier to coordinate the number of machines in each group of operations. If there is no need to perform several operations simultaneously, each can be performed by one machine after the completion of the previous process (Novruzova, 2023).

2 LITERATURE REVIEW

Technological machine complexes recommended for the construction and reconstruction of rational profile canals in inter-farm and intra-farm networks (Rakhmanin et al., 2020):

1. For irrigation network canals with a depth of up to 1.5 meters, an excavator-ditch digger with a swinging rotor based on the K-701 tractor is recommended.
2. For canals with a depth of 2 to 3 meters, screw-rotor ditching excavators of the ETR-207 type are suitable.
3. For irrigation network canals with a parabolic profile, reclamation dredgers with selected technical characteristics are recommended.

It is advisable to carry out the work for constructing canals with a parabolic cross-section using a flow method (Cheng et al., 2022). This method ensures the even loading of all mechanisms during the work shift. The main features of flow construction are uniform and continuous production, based on the segmentation of the overall production process, division of labor, combination, and rhythm of work processes (Naumova et al., 2019).

To enhance the level of mechanization and the efficiency of using machine complexes in the construction of irrigation networks with a full range of canal sizes, it is crucial to correctly justify the choice of their sizes and ensure the flow execution of work with minimal costs (Lee et al., 2020).

For the construction of rational profile canals, three technological construction schemes with the use of rotor excavator-ditcher working bodies have been developed:

1. Scheme 1 – with a dual-rotor type working body (Figure 1a).
2. Scheme 2 – with a swinging type rotor working body (Figure 1b).
3. Scheme 3 – with a screw-rotor working body (Figure 2).

The distinctive features of the proposed schemes compared to existing excavator-ditcher working bodies are as follows:

- For Scheme 1 – the installation of rotors (cutters) in space with angles of inclination to the horizontal plane (α) and rotation in plan (β) relative to the longitudinal axis of the machine, which together allows achieving a canal profile close to parabolic.

- For Scheme 2 – the swinging of the rotor during operation relative to the vertical axis, which, in combination with passive knives at the top of the slopes, allows obtaining a parabolic canal profile.

- For Scheme 3 – the structural features of conical screw side cutters, whose generatrix is made curvilinear (barrel-shaped), which, in combination with the rotor and the finishing blade, allows achieving a parabolic profile canal cross-section.

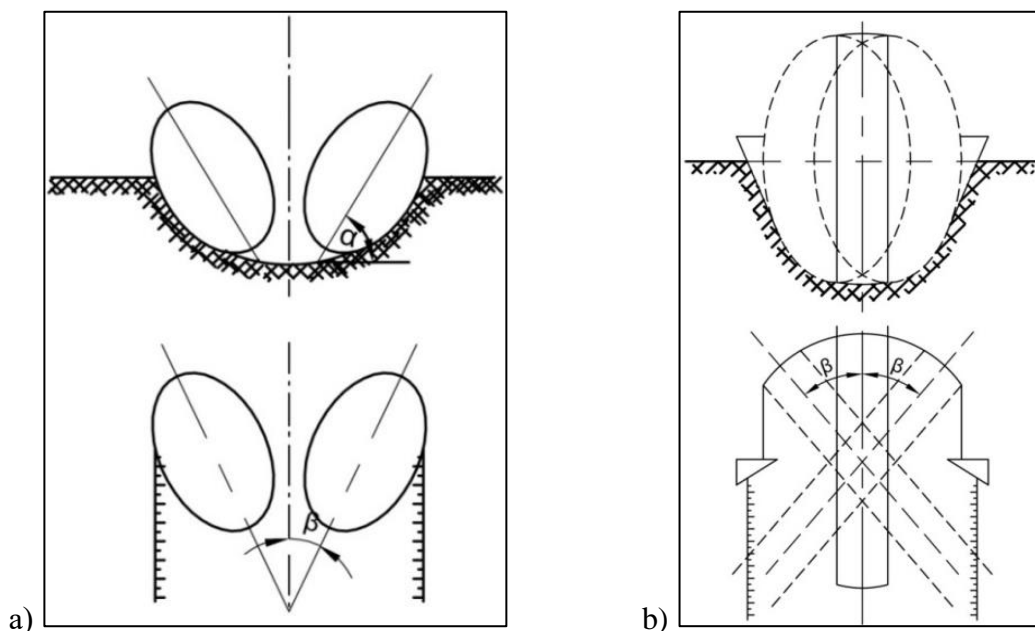


Figure 1 - Schemes for developing a parabolic profile canal using a dual-rotor type ditcher working body (a) and a swinging rotor type ditcher working body (b) (author's material)

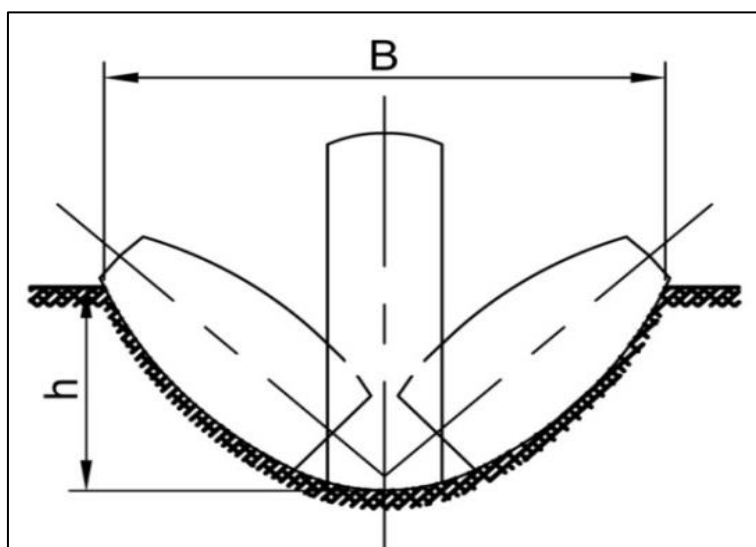


Figure 2 - Scheme for developing a parabolic profile canal using a screw-rotor type ditcher working body (author's material)

By changing the angles of inclination and rotation of the rotors in the first scheme, the angle of swinging in the second scheme, and the inclination of the screw side cutters in the third scheme, not only can canals with different cross-sectional profiles be achieved, but the cross-sectional area of the

canal, machine productivity, energy consumption, as well as specific power and productivity costs are also affected (Bai et al., 2019). Understanding the influence of the angles of rotation and inclination of the rotor and screw on the indicators will allow for the selection of optimal operating modes for the working bodies when developing rational profile canals (Rakhmanin et al., 2020).

Figure 3 shows the dependence of soil cutting force P_z on the rotor rotation angle β at different values of the inclination angle α for a bucket with an elementary profile cutting perimeter.

As is known (Moldamuratov, 2020), one of the main indicators of a machine is its productivity, which reflects the work process. For continuous operation excavators, productivity particularly depends on the efficiency of the digging process. Therefore, when optimizing the technological parameters of ditcher-excavators, the decisive factor determining the energy consumption of the machine is the determination of the loading dependence of the working bodies for various design parameters and the physical-mechanical properties of the soil (Rakhmanin et al., 2020).

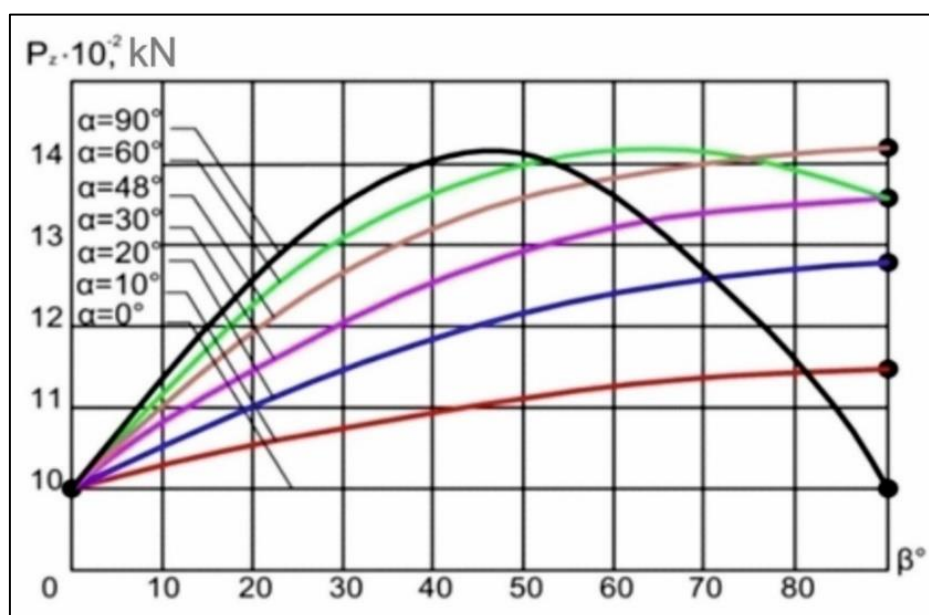


Figure 3 - Dependence of soil cutting force P_z on the change in rotor rotation angle β at different values of inclination angle α for a bucket with a cutting perimeter of an elementary profile (author's material)

An analysis of the experience (Boutsioukis et al., 2022) of dredger operation in various industries allows us to identify the following main problems that need to be addressed to improve their efficiency:

- Improvement of papillation schemes. While the existing work movement schemes may somewhat satisfy soil development in quarries, they require further refinement for the conditions of developing profile excavations and especially for maintaining canals with curvilinear cross-sectional shapes in working condition.

- Creation of modern, reliable control and measuring equipment, particularly for monitoring soil intake processes, papillation, and production accounting.

- Automation of the papillation process.

- Enhancement of the suction capacity of dredgers by improving the working characteristics of soil pumps.

- Structural improvement of the main equipment from a hydraulic perspective. The current soil intake devices, suction lines, and soil pumps do not always fully meet the specific requirements of soil development conditions.

- Increasing the wear resistance of the equipment.

- Lack of a sufficient number of standard sizes of reclamation dredgers.

3 MATERIALS AND METHODS

In the practice of hydraulic construction and the operation of hydro-reclamation systems, the most widespread methods for constructing and cleaning canals from sediment involve using separate funnels and trenches. Several authors ([Boutsoukis et al., 2022](#)) believe that these methods of soil development create favorable suction conditions. The tip develops the soil around its entire perimeter, and the deeper it penetrates the deposits, the better the suction conditions become due to the formation of a funnel or trench, along the slopes of which particles slide towards the intake opening ([Wang et al., 2020](#)). This ensures a high consistency of the slurry, thereby increasing the dredger's productivity, measured in linear meters of canal developed per hour of pure work compared to other methods ([Rakhmanin et al., 2020](#)).

As production studies ([Pishgar et al., 2022](#)) have shown, the method of cleaning the canal with separate funnels has the following significant drawbacks:

- Uneven surface of the canal bottom after its development;
- Over-deepening of the canal bottom's design profile, leading to increased water filtration from the canal due to the removal of the colmatage layer (when cleaning canals from sediment);
- The inability to continuously bring the intake opening of the tip closer to the face, which practically, in the absence of consistency meters, leads to a decrease in the slurry's soil content;
- Relatively short working time (20-25% of the dredger's pure working time) of the soil pump with satisfactory slurry consistency (soil content around 10%);
- The possibility of using some looseners and other intensifiers for soil intake.

The cleaning of the canal with longitudinal trenches has found wide application in deepening works with large dredgers. In this method, dredgers without looseners develop the soil in separate trenches, moving forward along the designated cut ([Figure 4](#)). To fix the position of the dredger and perform its movements when working against the current, a bow anchor is brought forward, and two side anchors are placed. The trench method is characterized by its simplicity ([Rakhmanin et al., 2020](#)).

The disadvantages of the trench method for cleaning canals include:

- The ability to develop mainly light soils through free suction;
- Over-deepening of the cleaned canal bottom, which can lead to increased water filtration from the canal into the underlying soils;
- Increased volume of development due to the over-deepening of the canal bottom;
- Unfavorable suction conditions (part of the perimeter of the intake opening of the tip draws in clean water). This reduces the consistency of the slurry, and consequently, the productivity of the soil pump concerning the soil;
- The presence of idle movements, which reduces the utilization factor of the shift equipment and increases the cost of cleaning work.

Cleaning the canal using papillation strips is a progressive method. In this case, the soil intake device moves from one bank to the other across the canal, and the soil is developed with transverse trenches. When the dredger is equipped with a pile apparatus, pile papillation is used ([Figure 5](#)); in its absence, papillation on cables is used ([Moldamuratov, 2020](#)).

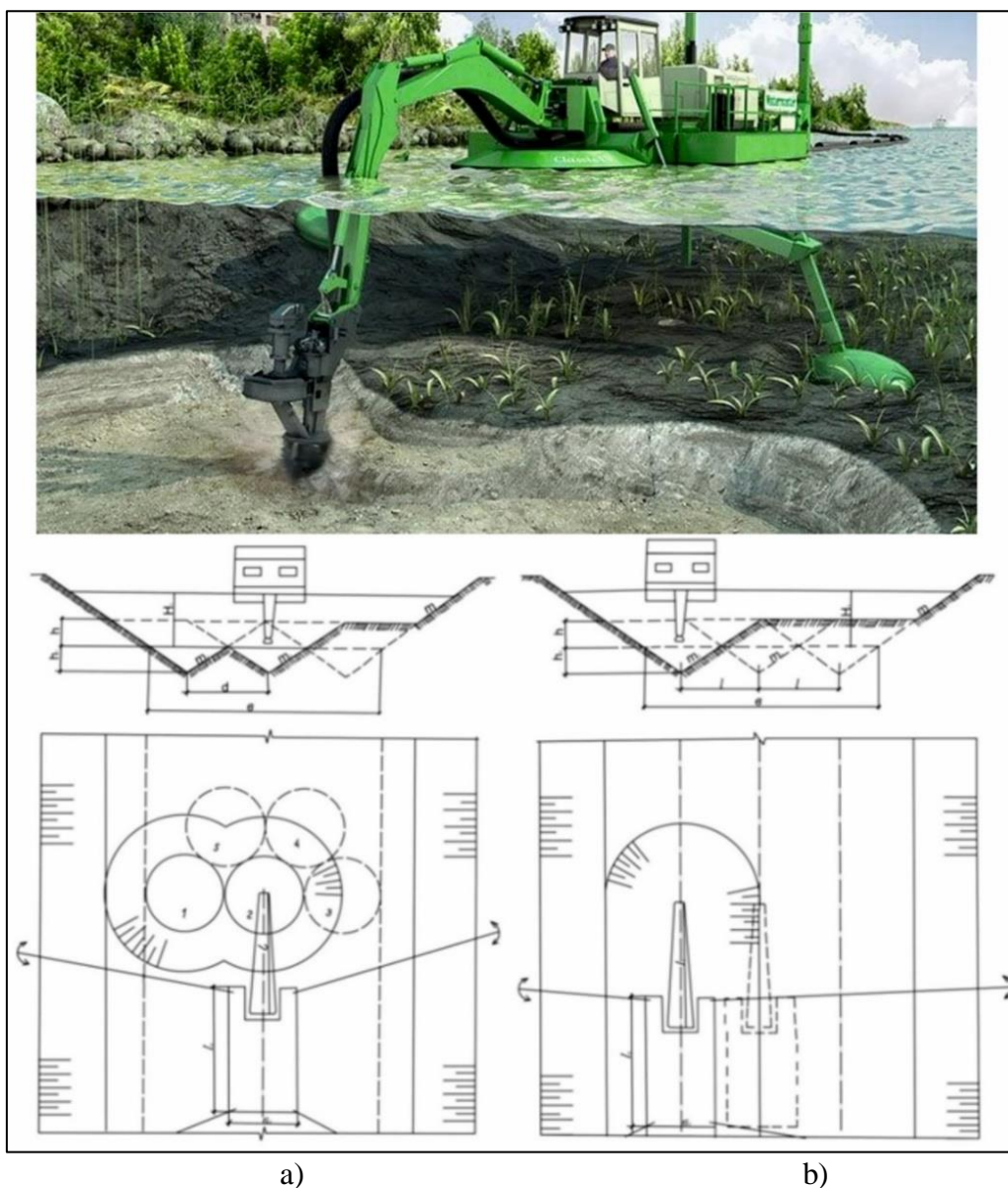


Figure 4 - Soil development using separate funnels (a) and longitudinal trenches (b)
(author's material)

4 RESULTS AND DISCUSSION

The papillation scheme yields good results when developing dense soils of small thickness with the mandatory use of looseners. It provides a good finish for the canal bottom surface and, by eliminating idle movements, increases the utilization rate of shift equipment. In pile papillation, the dredger body turns by 350 - 450 degrees, which determines the width of the developed cut ([Rakhmanin et al., 2020](#)).

Thus, when cleaning canals of a given width using the trench scheme and separate funnels, the values of the over-deepening of the developed canal bottom and the volume of excess excavated soil decrease as the distance between adjacent trenches or funnels across the canal is reduced. However, as the distance between adjacent trenches or funnels decreases, the necessary number of trenches or funnels across the canal increases to achieve the design width of the developed canal bottom ([Figure 6a, b](#)). With many trenches or funnels in the cross-section of the canal, the time for the dredger's working movements will constitute a significant portion of the work shift, leading to a reduction in the utilization rate of working equipment during the shift, thus decreasing the productivity of the soil pump ([Shaazizov et al., 2020](#)).

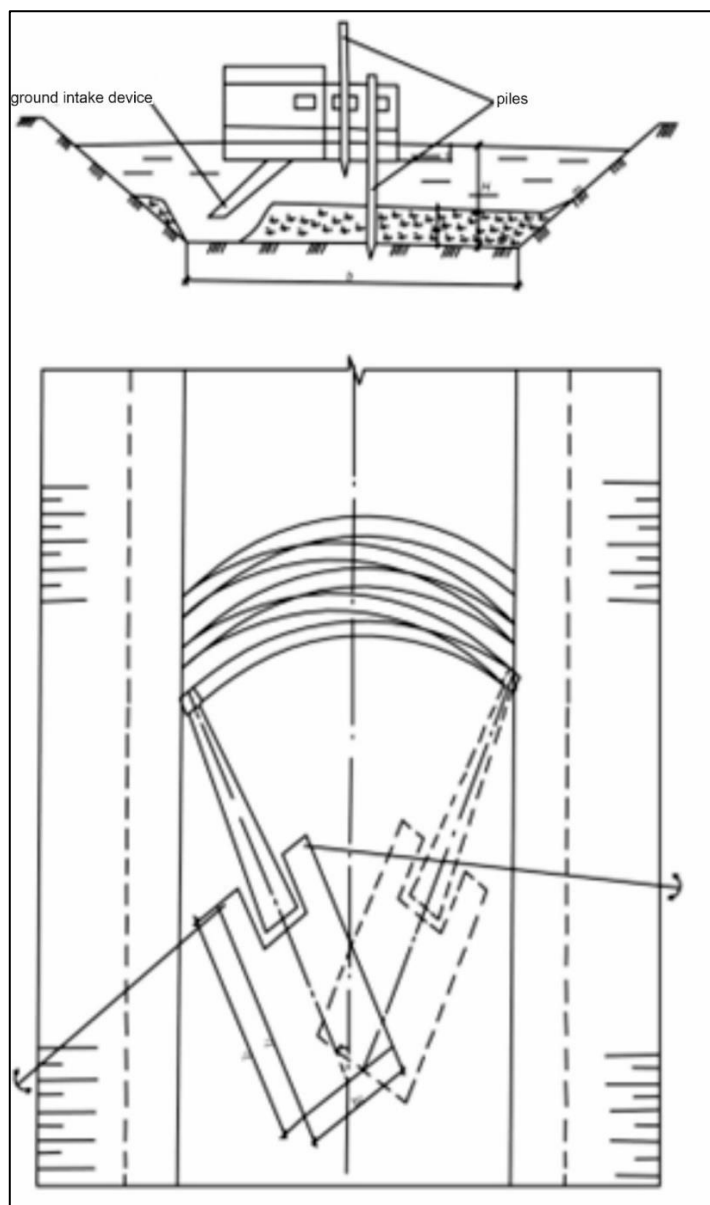


Figure 5 - Soil development using papillation strips (author's material)

Conversely, reducing the number of trenches and funnels in the canal cross-section leads to increased values of the canal bottom over-deepening and the volume of developed soil. Therefore, when setting the distances between adjacent trenches or funnels, these mutually opposing factors should be considered (Shaazizov et al., 2020).

When the lengths of the shore or floating slurry pipelines are equal for all three soil development schemes, and when developing narrow canals (with the slurry being discharged onto the shore by a slurry nozzle), the time spent moving the dredger for the trench scheme is greater than for separate funnels, due to the additional time required for returning the dredger to the initial development position. For the canal cleaning scheme with separate funnels, the time spent moving the dredger is greater than for the papillation scheme, as additional time is needed to move the suction slurry pipeline from one funnel to another. Thus, the papillation scheme requires the least time for non-productive movements (Tarasyants et al., 2021).

Production studies have shown (Shaazizov et al., 2020) that for removing a sediment layer up to 0.5 meters thick, it is not rational to use cleaning schemes with separate funnels and trenches.

Therefore, in the papillation canal cleaning scheme, the bottom over-deepening, the volume of excess excavated soil, and the non-productive time spent moving the soil intake device are minimized. Additionally, a relatively smooth surface of the canal bottom and slopes is ensured (Figure 6c).

The application of the papillation scheme allows for increased productivity of dredgers in terms of soil and especially the length of the developed canal. During canal cleaning, it simultaneously preserves the layer of colmatage soil (without increasing water loss in the canal due to filtration) and maintains the stability of the canal slopes after cleaning. The use of the papillation soil development scheme will reduce the extent of over-deepening of the canal bottom's design profile, thus mitigating the disadvantage inherent in the hydraulic mechanized method of soil development during the construction and maintenance of hydro-reclamation system canals (Rakhmanin et al., 2020).

The wetted perimeter of the canal after its development with longitudinal trenches is greater than that of the canal developed with papillation strips. The flow with the highest kinetic energy occurs in the canal with the smallest wetted perimeter. Therefore, the flow in the canal developed with papillation strips has a greater sediment transport capacity compared to the flow in the canal developed with longitudinal trenches and even more so after cleaning with separate funnels (Shaazizov et al., 2020).

The application of the papillation canal cleaning scheme will significantly improve the quality of work in the construction and maintenance of hydro-reclamation system canals, as it improves with the reduction in the magnitude of over-deepenings and under-excavations (Shaazizov et al., 2020).

Due to the small values of the wetted perimeter length and the canal width at the water's edge in parabolic cross-sections, there are fewer water losses due to filtration (especially for canals with sandy soil beds) and evaporation. Additionally, the operation of canals with an earth bed and a stable profile is 2-3 times cheaper than the operation of silted and eroded sections (Shaazizov et al., 2020).

The development of inter-farm canals with a curvilinear shape can only be performed by dredgers due to their placement within the developed canal during operation and the pendulum movement of the intake opening of the nozzle (Rakhmanin et al., 2020). The technology of the soil development scheme using a dredger is shown in Figure 7.

The technological parameters of cleaning schemes for various work methods are presented in Table 1, which allows for the selection of the optimal option and alignment with technological indicators (Figure 8).

Table 1

Establishing technological parameters for various work methods using dredgers [author's material]

Technological indicators	Cleaning schemes		
	Separate funnels	Longitudinal trenches	Papillation ribbons
Deepening of the canal bottom	$\frac{d}{2m_3} = \frac{b}{2nm_3}$	$\frac{l}{2m_3} = \frac{b}{2nm_3}$	$\frac{C}{2m_3}$
The volume of excessively excavated soil	$\frac{\pi db}{24m_3} = \frac{\pi b^2}{24nm_3}$	$\frac{bl}{4m_3} = \frac{b^2}{4nm_3}$	$\frac{Cb}{4m_3}$
The time spent on moving the dredger per 1 linear meter of the canal being cleaned	$\frac{t_1 b}{d^2} + \frac{t_1^n}{l_1}$	$\frac{(t_2 + t_2^n)b}{l^2} + \frac{t_2^n}{l_2}$	$\frac{t_3}{C} + \frac{t_3^n}{l_3}$
When the hydraulic mixture is discharged by a jet onto the shore	$\frac{t_1 b}{d^2}$	$\frac{(t_2 + t_2^n)b}{l}$	$\frac{t_3}{C}$

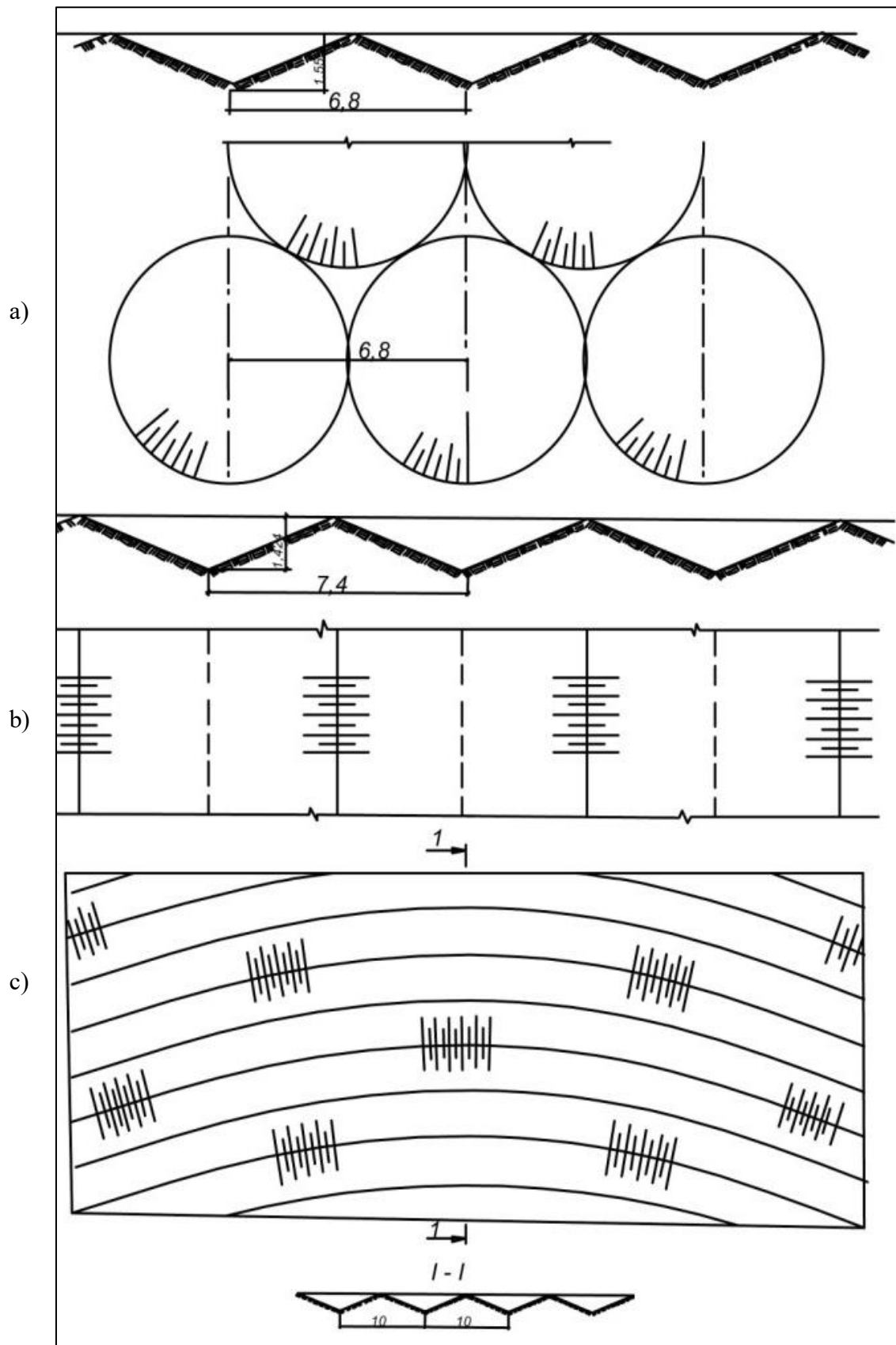


Figure 6 - Bottom contours of excavations using separate funnels (a), longitudinal trenches (b), and papillonation strips (c) (author's material)

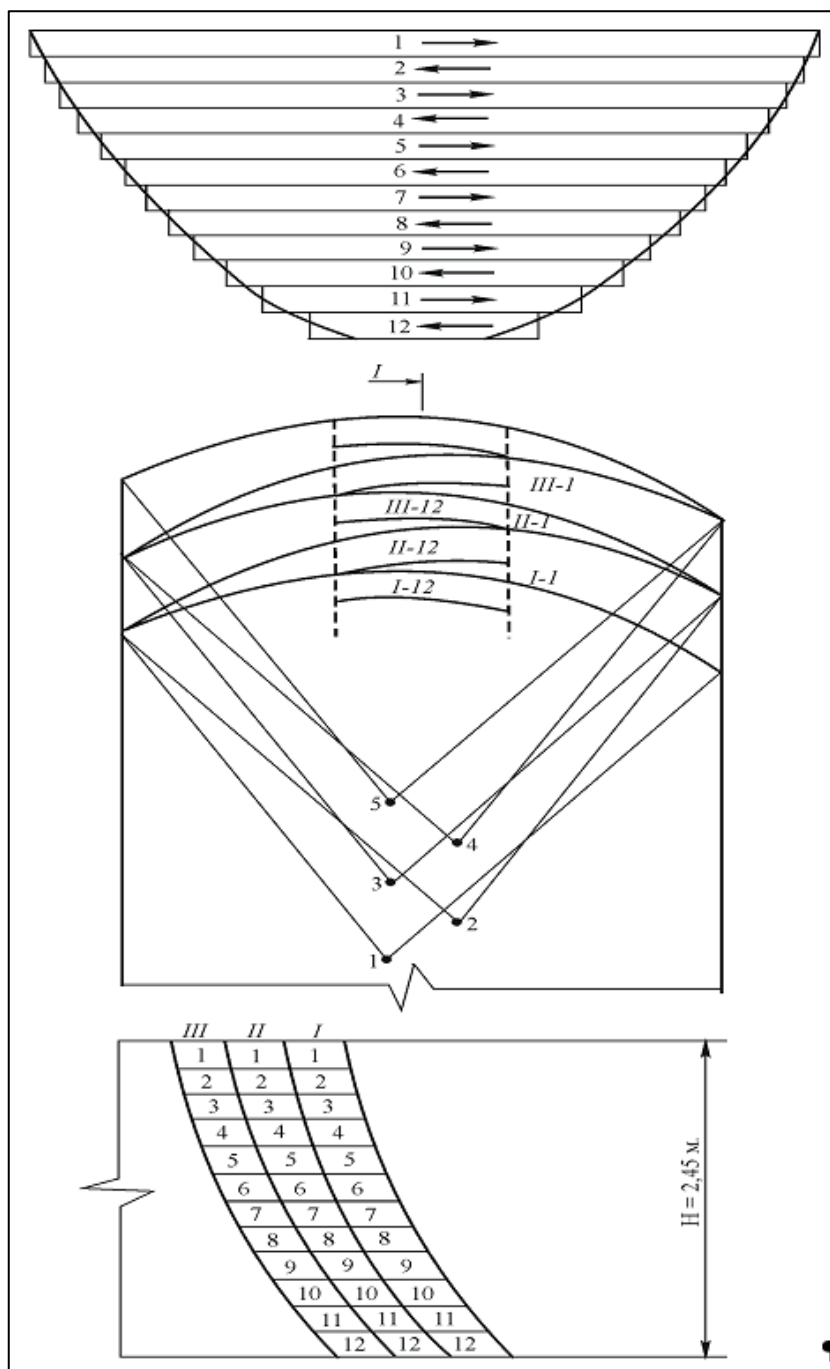


Figure 7 - Technological scheme for constructing a curvilinear canal using a dredger with papillonation strips (author's material)

Giving the developed canal a cross-sectional shape that is stable in both hydraulic and static aspects has allowed for the following benefits:

- Increased sediment transport capacity of the flow, while simultaneously reducing the cross-sectional area, growth of vegetation, water level fluctuations, water losses, and the right-of-way strip.
- Reduced the volume of cleaning work by up to 20%.
- Increased the period between cleanings by ensuring uniform flow movement.
- Enhanced the productivity of dredgers by concentrating sediment on the canal slopes without changing the overall volume of cleaning.

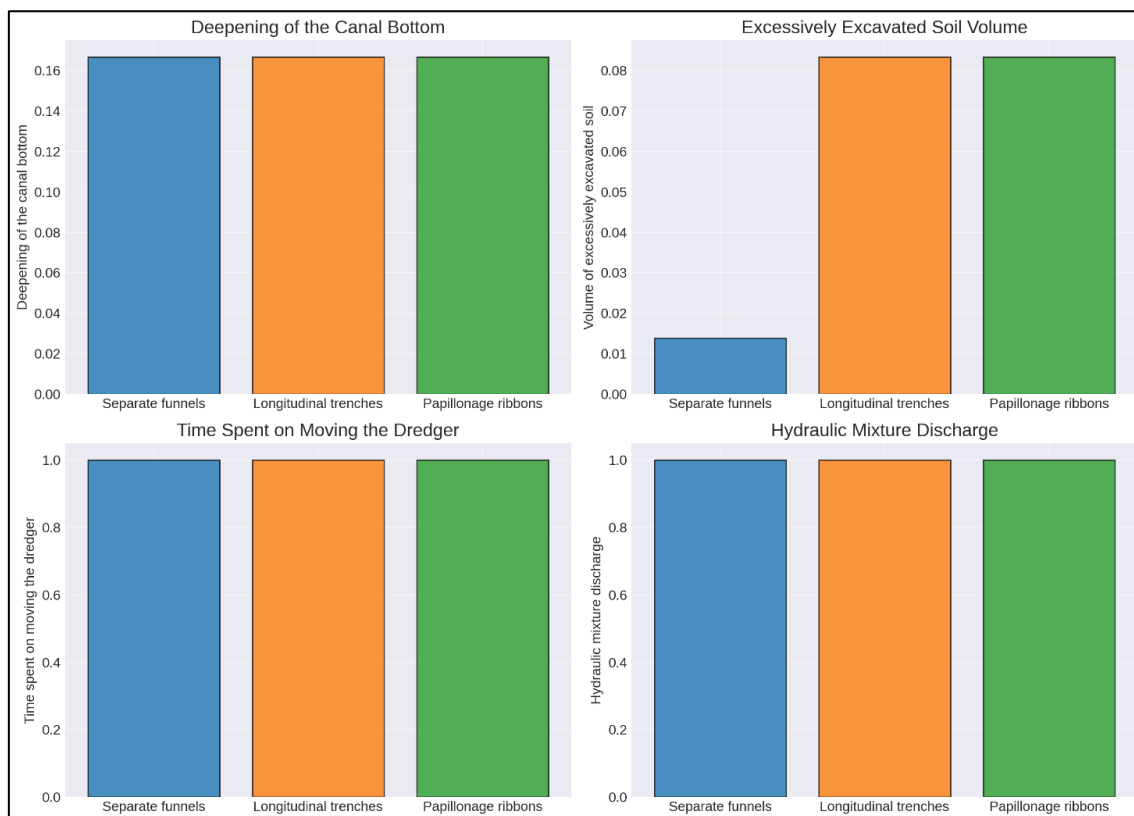


Figure 8 - Establishing technological parameters for various work methods using dredgers (author's material)

5 CONCLUSIONS

1. An analysis of operational activities carried out on the canals of the hydro-reclamation systems of the Republic of Kazakhstan indicates a significant increase over the past 10 years in the volume of cleaning works (by 3.5 times) and the costs of their implementation (by 6 times). The costs of performing cleaning works in the republic have exceeded 60% of all operational expenses. This highlights the need to address issues related to reducing the volume, cost, and labor intensity of cleaning works, and improving the quality of operational activities.

2. The study of existing soil development schemes, both during the construction and cleaning of canals using dredgers, indicates the advisability of using the papillation soil development scheme, which significantly improves the quality and reduces the cost of works.

3. The main directions for improving the efficiency of soil development with dredgers during the construction and maintenance of hydro-reclamation system canals in working condition are improving papillation schemes, using reliable control and measuring equipment, and automating the papillation process.

REFERENCES

1. Novruzova, G.V. (2023). Energy capacity determining of sediment cleaning from concrete-lined channels based on real indicators. *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering*, 15(1), 352–356.
2. Usmonov, T.U., Karimov, M. S., Sh Sharipov, Z., & Usmanov, N. K. (2023). Determination of the absolute and relative soil velocity in the bucket of a rotary wire cleaner. In *IOP Conference Series*:

- Earth and Environmental Science (Vol. 1206). Institute of Physics. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1206/1/012039>
3. Novruzova, G.V. (2022). Cleaning of concrete-lined channels with a large capacity rotary bucket. *Problems of Computational Mechanics and structural strength* (35), 114–127. <https://doi.org/10.15421/422221>
 4. Naumova, T.V., Kusher, A.M., & Pikalova, I.F. (2019). Improving the efficiency of operational measures on reducing the sediment capture in the irrigation system water intake. *Vestnik MGSU*, (9), 1167–1179. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.9.1167-1179>
 5. Lee, A., Usmonov, T., & Norov, B. (2020). Seiling and cleaning of channels. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 883). IOP Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/883/1/012062>
 6. Moldamuratov, Zh.N. (2020). Methods of cleaning channels with dredging shells. *Bulletin of Kazakh Leading Academy of Architecture and Construction*, 78(12), 221–227. <https://doi.org/10.51488/1680-080x/2020.4-32>
 7. Boutsoukis, C., & Arias-Moliz, M.T. (2022). Present status and future directions – irrigants and irrigation methods. *International Endodontic Journal*. John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/iej.13739>
 8. Pishgar, R., Keshavarzi, A.R., & Aslani-Kordkandi, A. (2022). An efficient self-cleaning Dam-Type Sediment Excluder upstream of the dam reservoir. *Acta Geophysica*, 70(5), 2389–2401. <https://doi.org/10.1007/s11600-022-00855-y>
 9. Rakhmanin, Y.A., Kuznetsova, K.Y., Kuznetsova, M.A., Gorenkov, R.V., Tararikov, O.Y., & Drozdov, A.A. (2020). Best available technologies: Selection of domestic disinvasion products in the treatment of industrial wastewater and their sediments. *Gigiena i Sanitariya*, 99(12), 1324–1329. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-12-1324-1329>
 10. Shaazizov, F., Badalov, A., Shukurov, D., & Yulchiev, D. (2020). Hydraulic elevator for cleaning sediment of a water outlet of a reservoir. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 883). IOP Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/883/1/012018>
 11. Tarasyants, S.A., Shiryaev, V.N., Mikheev, A.V. (2021). Methodology for calculating jet ejectors, used in hydromechanization. *Ecology and Water Management*, (2). <https://doi.org/10.31774/2658-7890-2021-3-2-113-123>
 12. **Kadirova, M. G.** (2023). Autoregulatory of water level for channels of parabolic section and its capacity. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 401). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340101038>
 13. **Wen, H., & Li, F.** (2014). Numerical integration method for calculating water surface profile of gradually varied steady flow in parabola shaped channel. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 30(24), 82–86. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2014.24.010>
 14. **Zebardast, S., Tabatabaei, S. H., Abbasi, F., Heidarpour, M., Gualtieri, C., Hosseinipour, E. Z., & Asgari, K.** (2015). Analysis of complete mixing length in a non-rectangular channel. In *World Environmental and Water Resources Congress 2015: Floods, Droughts, and Ecosystems - Proceedings of the 2015 World Environmental and Water Resources Congress* (pp. 1998–2003). American Society of Civil Engineers (ASCE). <https://doi.org/10.1061/9780784479162.196>
 15. **Cheng, T., Lu, Q., Kang, H., Fan, Z., & Bai, S.** (2022). Productivity Prediction and Analysis Method of Large Trailing Suction Hopper Dredger Based on Construction Big Data. *Buildings*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/buildings12101505>
 16. **Bai, S., Li, M., Kong, R., Han, S., Li, H., & Qin, L.** (2019, September 1). Data mining approach to construction productivity prediction for cutter suction dredgers. *Automation in Construction*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102833>
 17. **Wang, B., Fan, S. D., Jiang, P., Zhu, H. H., Xiong, T., Wei, W., & Fang, Z. L.** (2020). A novel method with stacking learning of data-driven soft sensors for mud concentration in a cutter suction dredger. *Sensors* (Switzerland), 20(21), 1–19. <https://doi.org/10.3390/s20216075>

SINGLE-DEGREE-OF-FREEDOM VIBRATION ISOLATION SYSTEM WITH ONE ADDITIONAL SUPPORT

D.O. Tolegenova* , I.M. Polyakova 

International Educational Corporation, 050028, Almaty, Kazakhstan

Abstract. *Vibration isolation is one of the most effective methods for reducing vibration levels of supporting structures when installing vibroactive equipment (active vibration isolation) or vibration levels of vibro-sensitive objects relative to foundation vibration levels (passive vibration isolation). Damping devices utilizing high-speed fluid flow through apertures have found wide applications in shock vibration isolation and vibration isolation systems in aerospace and defense sectors. Recent research has led to the development of viscous fluid dampers (VFDs) for use in civil engineering, particularly in earthquake-prone areas. Scientists conducted experiments aimed at determining the ability of viscous fluid dampers to reduce damages and displacements of structures without increasing stresses. Mathematical models have been developed and are applied in vibration isolation systems. When vibroactive equipment is installed on building and structure support systems, vibrations with sufficiently high vibration parameters may occur, potentially leading to loss of load-bearing capacity. In such cases, vibration isolation is considered one of the most effective methods for reducing these vibration levels. In this study, a calculation method has been developed, and calculation dependencies and algorithms for calculating vibration protection systems with nonlinear characteristics (additional support connections, viscous fluid damper) have been derived for both single-degree-of-freedom and two-degree-of-freedom systems. The research involved an analysis of normative and scientific-technical literature on the subject: types, structural solutions, calculation, and analysis of vibration protection systems. The main method selected was based on the use of transfer functions of linear systems (the non-traditional "normal form" method). Calculations were performed using computer mathematics systems- Matlab.*

Keywords: *vibration isolation, damper, viscous friction, vibration level, vibro-sensitive objects, damping devices, linear system.*

***Corresponding author**

Dinara Tolegenova, e-mail: dinara.tulegenova.00@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-12>

Received 09 April 2023; Revised 17 June 2023; Accepted 24 September 2023

БІР ЕРКІНДІК ДӘРЕЖЕСІ ЖӘНЕ БІР ҚОСЫМША БАЙЛАНЫСЫ БАР ДІРІЛ ОҚШАУЛАУ ЖҮЙЕСІ

Д.О. Төлегенова¹ , И.М. Полякова^{1*} 

¹Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, 050028, Қазақстан

Аңдатпа. Дірілді оқшаулау іргетастың діріл деңгейіне (пассивті дірілді оқшаулау) қатысты виброактивті жабдықты (белсенді дірілді оқшаулау) немесе дірілге сезімтал объектілердің діріл деңгейлерін орнату кезінде тірек құрылымдарының діріл деңгейін төмендетудің ең тиімді әдістерінің бірі болып табылады. Апертуралар арқылы жоғары жылдамдықты сұйықтық ағынын пайдаланатын демпферлік құрылғылар аэроғарыштық және қорғаныс секторларында соққы дірілін оқшаулау және дірілді оқшаулау жүйелерінде кең қолданыс тапты. Соңғы зерттеулер азаматтық құрылыста, әсіресе жер сілкіністері қаупі бар аймақтарда қолдануға арналған тұтқыр сұйықтық амортизаторларының (VFD) дамуына әкелді. Ғалымдар тұтқыр сұйықтық амортизаторларының кернеулерді арттырмай құрылымдардың зақымдануы мен жылжуын азайту қабілетін анықтауға бағытталған эксперименттер жүргізді. Математикалық модельдер әзірленді және дірілді оқшаулау жүйелерінде қолданылады. Ғимарат пен құрылысты қолдау жүйелерінде виброактивті жабдық орнатылған кезде, діріл параметрлері жеткілікті жоғары діріл пайда болуы мүмкін, бұл жүк көтеру қабілетінің жоғалуына әкелуі мүмкін. Мұндай жағдайларда дірілді оқшаулау осы діріл деңгейлерін төмендетудің ең тиімді әдістерінің бірі болып саналады. Бұл зерттеуде есептеу әдісі әзірленді және сызықтық емес сипаттамалары бар дірілден қорғау жүйелерін есептеу алгоритмдері (қосымша тірек қосылыстары, тұтқыр сұйықтықтың демпфері) бір еркіндік дәрежесі үшін де, екі дәрежелі үшін де есептелді. еркіндік жүйелері. Зерттеу осы тақырып бойынша нормативтік және ғылыми-техникалық әдебиеттерді талдауды қамтыды: дірілден қорғау жүйелерінің түрлері, құрылымдық шешімдері, есептеулері және талдаулары. Таңдалған негізгі әдіс сызықтық жүйелердің тасымалдау функцияларын қолдануға негізделген (дәстүрлі емес «қалыпты форма» әдісі). Есептер компьютерлік математикалық жүйелер – Matlab көмегімен орындалды.

Түйін сөздер: дірілді оқшаулау, демпфер, тұтқыр үйкеліс, діріл деңгейі, вибросезімтал объектілер, демпферлік құрылғылар, сызықтық жүйе.

*Автор-корреспондент

Динара Төлегенова, e-mail: dinara.tulegenova.00@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-12>

Алынды 09 сәуір 2023; Қайта қаралды 17 маусым 2023; Қабылданды 24 қыркүйек 2023.

УДК 699.844.1
МРНТИ 67.01.05
НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

СИСТЕМА ВИБРОЗАЩИТЫ С ОДНОЙ СТЕПЕНЬЮ СВОБОДЫ И С ОДНОЙ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ СВЯЗЬЮ

Д.О. Төлегенова¹ , И.М. Полякова^{1*} 

¹Международная образовательная корпорация, Алматы, 050028, Казахстан

***Аннотация.** Виброизоляция является одним из наиболее эффективных методов снижения уровня вибрации несущих конструкций при монтаже виброактивного оборудования (активная виброизоляция) или уровня вибрации виброчувствительных объектов относительно уровней вибрации фундамента (пассивная виброизоляция). Демпфирующие устройства, использующие высокоскоростной поток жидкости через отверстия, нашли широкое применение в системах виброизоляции и виброизоляции в аэрокосмической и оборонной отраслях. Недавние исследования привели к разработке демпферов на основе вязкой жидкости (VFD) для использования в гражданском строительстве, особенно в сейсмоопасных районах. Ученые провели эксперименты, направленные на определение способности вязкостных демпферов уменьшать повреждение и смещение конструкций без увеличения напряжений. Разработаны математические модели, которые применяются в системах виброизоляции. При установке виброактивного оборудования на опорные системы зданий и сооружений могут возникать вибрации с достаточно высокими параметрами вибрации, потенциально приводящие к потере несущей способности. В таких случаях виброизоляция считается одним из наиболее эффективных методов снижения уровня вибрации. В работе разработана методика расчета, получены расчетные зависимости и алгоритмы расчета систем виброзащиты с нелинейными характеристиками (дополнительные опорные соединения, вязкостной демпфер) как для одностепенных, так и для двухстепенных степеней свободы. системы свободы. В ходе исследования был проведен анализ нормативной и научно-технической литературы по теме: типы, конструктивные решения, расчет и анализ систем виброзащиты. В качестве основного метода выбран метод, основанный на использовании передаточных функций линейных систем (нетрадиционный метод «нормальной формы»). Расчеты проводились с использованием системы компьютерной математики Matlab.*

***Ключевые слова:** виброизоляция, демпфер, вязкое трение, уровень вибрации, виброчувствительные объекты, демпфирующие устройства, линейная система.*

*Автор-корреспондент

Динара Төлегенова, e-mail: dinara.tulegenova.00@mail.ru

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-12>

Поступила 9 апреля 2023 г.; Пересмотрено 17 июня 2023 г.; Принято 24 сентября 2023 г.

ACKNOWLEDGEMENTS/SOURCE OF FUNDING

The study was conducted using private sources of funding.

CONFLICT OF INTEREST

The authors state that there is no conflict of interest.

АЛҒЫС/ҚАРЖЫЛАНДЫРУ КӨЗІ

Зерттеу жеке қаржыландыру көздерін пайдалана отырып жүргізілді.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

БЛАГОДАРНОСТИ/ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование проводилось с использованием частных источников финансирования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

1 INTRODUCTION

Vibrations caused by vibration-active equipment can have serious consequences for the structures of buildings and structures. These consequences include cracking, additional precipitation, disruption of processes, discomfort, and exceeding levels permitted by sanitary standards. To reduce the level of vibrations, the vibration isolation method is widely used, which includes active and passive approaches. Active vibration isolation is aimed at reducing the load on the base, and passive isolation is aimed at reducing the level of vibrations of vibration-sensitive equipment.

The most effective use of vibration isolation is observed in the case of machines with periodic loads, such as pumps, fans, compressors and other equipment.

At certain ratios of natural vibration frequencies of vibration-isolated equipment and shock loads, as well as supporting structures, the load transmitted to the supporting structures can be significantly reduced. When assessing the effectiveness of vibration isolation systems for machines with periodic loads, it is necessary to take into account transient modes (starting and stopping) and possible resonance.

However, with large movements in vibration isolation areas, problems with contact with auxiliary equipment, pipelines, etc. may arise. The vibration isolators themselves are also susceptible to destruction due to low-cycle fatigue.

To reduce the level of vibrations in these modes, additional elements can be used, such as connections, dissipative systems and additional masses. In this case, the characteristics of vibration protection systems become nonlinear, and their calculation is reduced to the analysis of nonlinear systems with a finite number of degrees of freedom (DOF).

In this study, a calculation method has been developed, and design dependencies have been derived and algorithms for calculating vibration protection systems with nonlinear characteristics (additional support link, viscous friction damper) as systems with one degree of freedom and two degrees of freedom have been compiled.

2 LITERATURE REVIEW

To calculate systems with a finite number of degrees of freedom and, in particular, vibration protection systems, the method of professor Chernov Y. T. (**Chernov Y. T., 2011**). The general theory of calculating linear systems using methods based on transition functions, impulse transition functions and their connections was given by prof. Solodovnikov V. V. (**1960**). When constructing solutions, in contrast to the traditional method of “normal forms,” there is no need to construct one’s own forms, write and solve equations in principal coordinates, and go back to generalized coordinates” (**Krylov & Bogolyubov, 2004**).

In the literature, there are much fewer works that provide calculation and assessment of vibration levels in vibration isolation systems in transient modes (start and stop).

High levels of vibrations in such modes can cause a breakdown in communication with additional equipment, such as pipelines, and cause destruction of vibration isolators, in particular metal ones, as a result of low-cycle fatigue.

The work (**Rodriguez et al., 1994; Martinez-Rodrigo & Romero, 2003; Osipova, 2014**) describe methods for calculating and analyzing the nature of oscillations in transient modes, including depending on the start and stop time intervals. Many examples of calculating systems with one degree of freedom and two degrees of freedom under different laws of changes in the frequencies of forced oscillations in transient modes are presented in the works of Ivovich V. A. (**1984**).

This study examined the problems of calculating linear and nonlinear vibration isolation systems as systems with a finite number of degrees of freedom (two degrees) in operational and transient modes. Under operating conditions, the calculation formulas were brought into a closed form, in the form of an expansion into the proper forms of linear systems immediately relative to generalized coordinates.

One of the common options for reducing vibration levels in transient modes is the introduction of additional elements that are activated during large movements in resonant zones in transient modes.

The algorithm for calculating nonlinear systems using the “normal forms” method is considered in Chernov (**Chernov, 2011**). This method is well studied and widely used in the study of linear dynamic systems. For example, it was successfully applied to the calculation of nonlinear systems with a finite number of degrees of freedom. This method is especially effective when calculating “systems with a large number of degrees of freedom.” “One of the main stages of calculation using the “normal forms” method is the determination of the system’s own forms and their normalization”. The method is based on the concept of the movement of system masses at an arbitrary point in time, shown in the form of an expansion in eigenvectors (principal coordinates):

$$\vec{y} = \Phi \vec{a} \tag{1}$$

where Φ -matrix normalized proper forms; \vec{a} - vector of main coordinates.
In this case, the associated equations of motion have the form:

$$M\ddot{\vec{y}} + D\dot{\vec{y}} + K\vec{y} = \vec{q}(t) \tag{2}$$

where M, D and K are the matrices of mass, dissipation and rigidity of the system, respectively. $\vec{y}, \vec{q}(t)$ –vectors of displacements of the system and external load applied to the masses.

These equations are transformed into equations of motion unrelated to the principal coordinates, similar to the equations of motion of a system with one degree of freedom":

$$\ddot{a}_r + d_r \dot{a}_r + p_r^2 a_r = b_r(t), \quad (r = 1, 2 \dots n) \tag{3}$$

where a_r - main coordinates,
 r - own form number;

d_r, p_r - dissipative coefficients and frequencies of natural oscillations;

$b_r(t) = \Phi' \vec{q}(t)$ -representation of the external load in the form of expansion in terms of its own forms (Φ' - transposed matrix of normalized eigenforms).

According to the “frequency-independent friction hypothesis,” one should accept:

$$d_r = p_r \gamma_r \tag{4}$$

where γ_r –coefficients of inelastic resistance of the system, all values of which are usually taken equal.

The solution to equation (3) is usually represented using the Duhamel integral:

$$a_r(t) = \frac{1}{p_r^*} \int_0^1 b_r(\tau) e^{-n_r(t-\tau)} \sin p_r^*(t - \tau) d\tau, \quad r = 1, 2 \dots n) \tag{5}$$

where

$$n_r = \frac{d_r}{2} = \frac{p_r \gamma_r}{2} \tag{6}$$

$p_r^* = \sqrt{p_r^2 - n_r^2} = p_r \sqrt{1 - \frac{\gamma_r^2}{4}}$ - natural oscillation frequencies taking into account damping.

Displacements in the original system in generalized coordinates are determined by formula (1).

Research has shown that nonlinear VF dampers are very reliable (**Osipova, 2013**). The medical center in San Bernardino County, California, is a five-story facility that uses 400 high-pressure rubber bearings and 233 $\alpha = 0.5$ nonlinear VF dampers. In addition, studies conducted on the seismic retrofitting of the Golden Gate Bridge suspension section in San Francisco showed that the use of VF dampers with a coefficient of $\alpha = 0.75$ leads to the desired efficiency (**Krylov & Bogolyubov, 2004**).

In some cases, VF dampers are used in conjunction with seismic isolation systems. For example, they have been integrated into the vibration isolation system of five buildings of a new medical center in San Bernardino County, located close to two major fault lines, since its construction in 1995 (Soong & Dargush, 1998).

Viscous friction dampers are used in some tall engineering structures exposed to gusty winds to mitigate dynamic loads. In China, they have been used, for example, in Beijing Yintai Center, Yizhenyuan Building in Huaiying City, Beijing Exhibition Center Building and Beijing Yintai Center Tower Central Building (Hongnan & Linsheng, 2010).

A study of a 9-story building with viscous friction dampers installed on the 5th and 9th floors showed a 32% reduction in displacements and a 53% reduction in accelerations on the 5th floor. On the 9th floor, a decrease in displacements by 36% and accelerations by 75% was noted (Khan et al., 2014).

In (TsNIISK named after V. A. Kucherenko, 1986), recommendations are given for vibration protection of buildings using vibration dampers and additional vibration insulation, but protection methods using additional support are not considered.

In (Dubinin et al., 2023) discusses information modeling and rules for compiling models of objects at different stages of operation of structures, incl. and when resonance phenomena occur during startup and shutdown of the object. In (Polyakova et al., 2022) outlines the solution algorithm (system of equations 7) and obtains the main characteristics for dynamic effects on structural elements, but does not consider the use of dampers or other vibration dampers (system of equations 8). As a special case of confirmation of these conclusions, the characteristics of the operation of objects in static mode are given (Polyakova et al., 2021).

$$\frac{du_r}{ds} = -v_1 E_1 \frac{\cos \theta}{r} u_r - v_1 \frac{E_2 \cos \theta}{E_1 r} \frac{\partial v}{\partial \varphi} - \sin \theta * \mathcal{G} + \frac{1-v_1 v_2}{E_1 h} \cos^2 \theta * Q_r + \frac{1-v_1 v_2}{E_1 h} \sin \theta \cos \theta * Q_z,$$

$$\frac{du_z}{ds} = -v_1 \frac{E_2 \sin \theta}{E_1 r} u_r - v_1 \frac{E_2 \sin \theta}{E_1 r} \frac{dv}{d\varphi} - \cos \theta * \mathcal{G} + \frac{1-v_1 v_2}{E_1 h} \sin \theta \cos \theta * Q_r + \frac{1-v_1 v_2}{E_1 h} \sin^2 \theta * Q_z,$$

$$\frac{dv}{ds} = -\frac{\cos \theta}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \varphi} - \frac{\sin \theta}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \varphi} + \frac{\cos \theta}{r} v - \frac{h^2}{3r^2} \sin \theta \frac{\partial \mathcal{G}}{\partial \varphi} + \frac{2(1+v_1)}{E_1 h} S^*, \quad (7)$$

$$\frac{d\mathcal{G}}{ds} = -v_1 \frac{E_2 \cos \theta}{E_1 r} \mathcal{G} + \frac{12(1-v_1 v_2)}{E_1 h^3} M_1 - v_1 \frac{E_2 \sin \theta}{E_1 r^2} \frac{\partial^2 u_r}{\partial \varphi^2} + v_1 \frac{E_2 \cos \theta}{E_1 r^2} \frac{\partial^2 u_z}{\partial \varphi^2} + v_1 \frac{E_2 \sin \theta}{E_1 r^2} \frac{\partial v}{\partial \varphi},$$

$$\frac{dQ_r}{ds} = \frac{E_2 h}{r^2} u_r - \frac{E_2 h}{r^2} \frac{\partial v}{\partial \varphi} - \frac{E_2 h^3}{12r^3} \sin \theta \cos \theta \frac{\partial^2 \mathcal{G}}{\partial \varphi^2} - (1-v_2) \frac{\cos \theta}{r} Q_r + v_2 \frac{\sin \theta}{r} Q_z - \frac{\cos \theta}{r} \frac{\partial S^*}{\partial \varphi} + v_2 \frac{\sin \theta}{r} \frac{\partial M_1}{\partial \varphi} - q_r,$$

$$\frac{dQ_z}{ds} = -\frac{E_2 h^3}{6(1+v_2)r^4} \frac{\partial^2 u_z}{\partial \varphi^2} + \frac{E_2 h^3}{6(1+v_2)r^3} \frac{\partial^2 \mathcal{G}}{\partial \varphi^2} + \frac{E_2 h^3 \cos^3 \theta}{12r^3} \frac{\partial^2 \mathcal{G}}{\partial \varphi^2} - \frac{\cos \theta}{r} Q_z - \frac{\sin \theta}{r} \frac{\partial S^*}{\partial \varphi} + v_2 \frac{\cos \theta}{r^2} \frac{\partial M_1}{\partial \varphi^2} - q_z,$$

$$\frac{dS^*}{ds} = -\frac{E_2 h}{r^2} \frac{\partial u_r}{\partial \varphi} - \frac{E_2 h}{r^2} \frac{\partial v}{\partial \varphi^2} - \frac{E_2 h^3 \sin \theta \cos \theta}{12 r^3} \frac{\partial \mathcal{G}}{\partial \varphi} + v_2 \frac{\cos \theta}{r} \frac{\partial Q_r}{\partial \varphi} + v_2 \frac{\sin \theta}{r} \frac{\partial Q_z}{\partial \varphi} - 2 \frac{\cos \theta}{r} S^* + v_2 \frac{\sin \theta}{r} \frac{\partial M_1}{\partial \varphi} - q_s,$$

$$\frac{dM_1}{ds} = -\frac{E_2 h^3 \sin \theta \cos \theta}{12 r^3} \frac{\partial^2 u_r}{\partial \varphi^2} + \frac{E_2 h^3 \cos \theta}{12 r^3} \frac{\partial^2 u_z}{\partial \varphi^2} + \frac{E_2 h^3}{6(1+v_2)r^3} \frac{\partial^2 \mathcal{G}}{\partial \varphi^2} + \frac{E_2 h^3 \sin \theta \cos \theta}{12 r^3} \frac{dv}{d\varphi} + \frac{E_2 h^3}{12} \cos \theta * \mathcal{G} - \frac{E_2 h^3}{6(1+v_2)r^2} \frac{\partial^2 \mathcal{G}}{\partial \varphi^2} + \sin \theta * Q_r - \cos \theta * Q_z - \frac{h^2 \sin \theta}{3r^2} \frac{dS^*}{d\varphi} - (1-v_2) \frac{\cos \theta}{r} M_1,$$

$$\frac{du_r}{ds} = \frac{1-v_1 v_2}{E_1 h} Q_z \sin \theta \cos \theta + \frac{1-v_1 v_2}{E_1 h} Q_r \cos^2 \theta - v_1 \frac{E_2 \cos \theta}{E_1} \frac{u_r}{r} - \mathcal{G} \sin \theta,$$

$$\begin{aligned}
 \frac{du_z}{ds} &= \frac{1-\nu_1\nu_2}{E_1h} Q_z \sin^2 \theta + \frac{1-\nu_1\nu_2}{E_1h} Q_r \sin \theta \cos^2 \theta - \nu_1 \frac{E_2}{E_1} \sin \theta \frac{u_r}{r} + \mathcal{G} \cos \theta, \\
 \frac{d\mathcal{G}}{ds} &= \frac{12(1-\nu_1\nu_2)}{E_1h^3} M_1 - \frac{E_2}{E_1} \nu_1 \frac{\cos \theta}{r} \mathcal{G}, \\
 \frac{dQ_r}{ds} &= \frac{E_2h}{r^2} u_r - \frac{(1-\nu_2)\cos \theta}{r} Q_r + \frac{\nu_2 \sin \theta}{r} Q_z - q_r, \\
 \frac{dQ_z}{ds} &= -\frac{\cos \theta}{r} Q_z - q_z \cdot r, \\
 \frac{dM_1}{ds} &= \frac{E_2h^3 \mathcal{G}}{12r^2} \cos^2 \theta + Q_r \sin \theta - Q_z \cos \theta - \frac{(1-\nu_2)\cos \theta}{r} M_1.
 \end{aligned} \tag{8}$$

3 MATERIALS AND METHODS

To dampen vibrations in transient modes in many fields of technology, including the operation of vibration-isolating equipment, systems with nonlinear elements - limiters and viscous friction dampers - are widely used. Problems and algorithms for solving such systems in operational and transient modes are considered. The system oscillation equation (**Figure 1a**) has the form:

$$m\ddot{y} + \left(1 + 2\nu \frac{d}{dt}\right) c(y)y = q(t) \tag{9}$$

Dependence of “reaction – displacement” for the accepted type of nonlinearity:

$$c(y)y = k_1 y \text{ for } y \leq y_0; \quad c(y)y = k_1 y_0 + (k_1 + k_2)(y - y_0) \text{ for } y > y_0 \tag{10}$$

Further, during the transformation, the system under consideration, taking into account nonlinearity, will take the form:

$$\ddot{y} + \left(1 + 2\nu \frac{d}{dt}\right) p_1^2 y = \frac{q(t)}{m} - \left(1 + 2\nu \frac{d}{dt}\right) \frac{k_2(y - y_0)}{m} \tag{11}$$

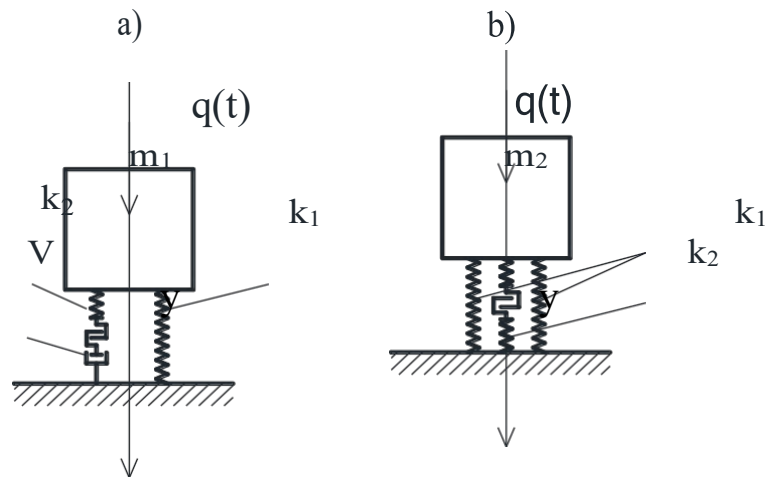


Figure 1 – a) system with limiter; b) system with viscous friction damper (author’s material)

The solution to equation (12) is presented in the form of two solutions; linear system to an external (y_l) and fictitious load, and which will depend on the type of nonlinearity (y_{nl}).

$$y = y_l - y_{nl} \quad (12)$$

The solution to the equation from the external load is written in the form of the Duhamel integral (**Chernov, 2011**):

$$y_l = \frac{1}{p_1^* m} \int_0^1 q(\tau) e^{-n_1(1-\tau)} \sin p_1^*(1-\tau) d\tau = \frac{1}{mp_1} [d_1(t)F_2(t) - d_2(t)F_1(t)] \quad (13)$$

where $2n_l = 2\nu p_1^2$, $p_1^* = \sqrt{p_1^2 - n_1^2}$,

$$d_1 = e^{-n_1 t} \sin p_1 t \quad d_2 = e^{n_1 t} \cos p_1 t \quad (14)$$

$$F_1 = \int_0^t q(t) \cdot e^{-n_1 t} \cos p_1^* \tau d\tau \quad (15)$$

The nonlinear component of the solution is determined from the integral equation

$$y_{nl} = \frac{1}{mp_1^*} \int_0^t \left(1 + 2\nu \frac{d}{dt}\right) k_2 (y - y_0) e^{-n_1(1-\tau)} \sin p_1^*(t-\tau) d\tau \quad (16)$$

where t_0 – time to turn on additional support.

Following (13) – (15) we can write down:

$$y_{nl} = \frac{k_2}{mp_1^*} \int_0^t (y - y_0) e^{-n_1(1-\tau)} (\sin p_1^* t \cos p_1^* \tau - \cos p_1^* t \sin p_1^* \tau) d\tau = \frac{k_2}{mp_1^*} [d_1(t)F_2(t_0, t) - d_2(t)F_1(t_0, t)] \quad (17)$$

where $F_2(t_0, t) = \int_{t_0}^t (y - y_0) \cdot e^{n_1 \tau} \cos p_1^* \tau d\tau$;

$$F_1(t_0, t) = \int_{t_0}^t (y - y_0) \cdot e^{n_1 \tau} \sin p_1^* \tau d\tau \quad (18)$$

The total displacement is calculated using formula (13), which is solved step by time with iterations at each step.

As an example, a system with the following parameters is considered: system mass – 10 tons; rigidity of the original system – 4000 kN/m; rigidity of additional connection – 2000 kN/m; amplitude of disturbing force – 350 kN; disturbing force frequency – 78 rad/s; $z_0 = 0.015$ m;

We use the above approach to calculate a system with a viscous friction damper (**Figure 1b**).

The equation of motion of a system with one degree of freedom with a viscous friction damper takes the form (in particular during start-up and in operating mode):

$$m\ddot{y} + \left(1 + 2\mu \frac{d}{dt}\right) ky + h_k \left|\frac{dy}{dt}\right| = q(t). \quad (19)$$

where h_k – drag coefficient (**TsNIISK named after V. A. Kucherenko, 1986**)

When $y_0 < y < y_1$, where $y_0(t_0)$ and $y_1(t_1)$ are the boundaries of the zones for switching on and off the damper. In the rest of the zone h_k is equal to zero.

Taking into account the above conditions, using the Duhamel integral, the solution to equation (19) can also be represented as a sum of two solutions (formulas 12 - 13). Let us write down the solution to the nonlinear part:

$$y_{Hл} = \frac{1}{p_1^* m} \int_{t_0}^t h_k \frac{dy}{d\tau} V_1(p_1^*, t - \tau) d\tau - \text{при } t \leq t_1 \quad (20)$$

Integrating (20) by parts, we write (in the interval $t_0 < t < t_1$)

$$y_{nl} = \frac{1}{p_1^* m} \left\{ h_k y V_1(p_1^*, t) \int_{t_0}^t - \int_{t_0}^t h_k y V_2(p_1^*, t - \tau) d\tau \right\}; \quad (21)$$

where $V_1(p_1^*, t) = e^{-n_1 t} \sin p_1 t$ - pulse transient function, $V_2 = \frac{d}{d\tau} V_1$,

After such transformations it takes the form:

$$y_{nl}(t) = \frac{h_k}{p_1^* m} \{ [n_1 d_1(t) - p_1 d_2(t)] F_2(\tau) + [n_1 d_1(t) - p_1 d_2(t)] F_1(\tau) \}. \quad (22)$$

4 RESULTS AND DISCUSSION

Without doing numerical solutions, we note that the indicated algorithm corresponds to the start-up solution, and the numerical algorithm is similar to the algorithm used in linear and nonlinear vibration isolation problems. In operating mode, the upper limit of the integral should be set to $t=t_1$. Movements of systems in stop mode are determined by the algorithm given above in the interval t_3-t , where t_3 —time when the damper is activated.

This study examines options for nonlinear vibration isolation systems, including systems with a limiter and viscous friction damper. Algorithms for calculating these systems both with one degree of freedom under the action of a harmonic load in operational mode and in transient modes are also presented. The given calculation example shows that the use of a system with a limiter allows one to reduce maximum movements in transient modes by 30-35%.

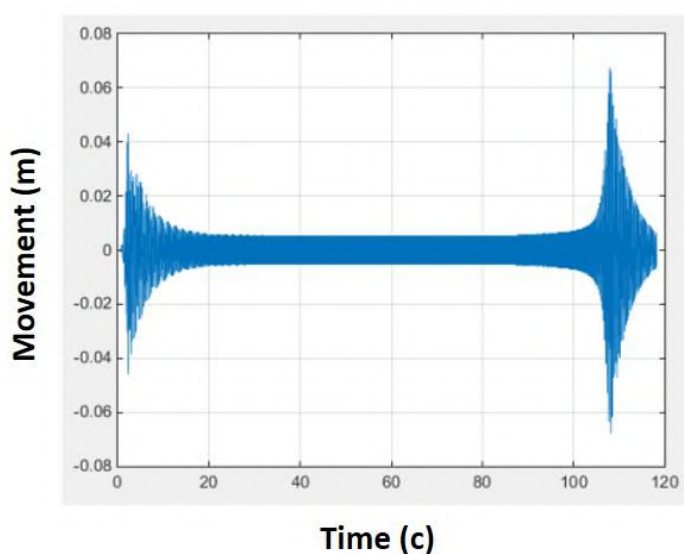


Figure 2 – Traditional system movement graphics (author’s material).

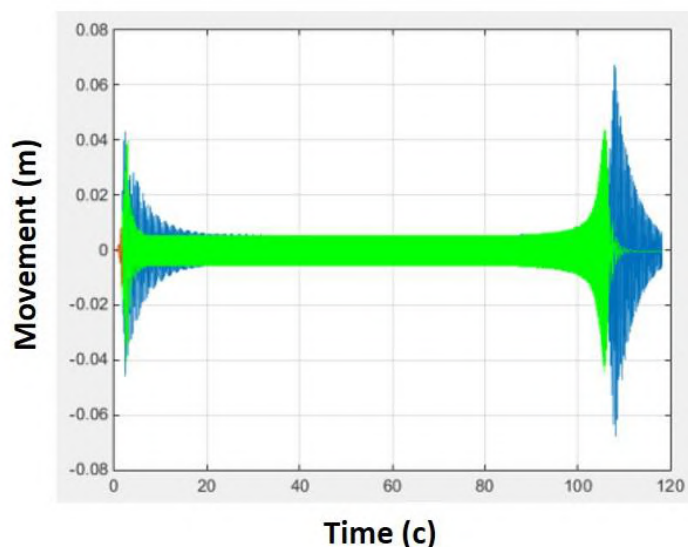


Figure 3 – Movements in the traditional system (blue) and with additional support (green) (author’s material).

An assessment was made of two options for vibration protection systems; traditional system and system with additional support.

The maximum displacement values with the traditional vibration isolation system were 0.0598; 0.0893 and 0.0061 m during start-up, stop and operation, respectively. For option 2 - systems with additional support, the greatest effect when turning on support during startup was at $k_2 = 1500$ kN/m. Other stiffness values gave unfavorable results and displacements increased. When stopped, the optimal value of stiffness k_2 was 2500 kN/m. In operational mode, of course, additional connections did not affect the levels of movement.

The maximum reactions transmitted to the supporting structures are also determined. Option 1 was taken as a control for comparison with other response values for other vibration isolation options. For option 2, the optimal stiffness value was $k_2 = 2500$ kN/m, at which the reaction value increased by 47% when starting and decreased by 48% when stopping.

Table 1

Amplitudes of movements in systems with 4 vibration isolation options [author's material]

Vibration isolation option	Constant parameter	Changed parameter	Amplitude of movement (m)		
			at start-up	when stopping	during operation
Traditional system	$m_1 = 10t$; $k_1 = 4200$ kN/m	-	0,0598	0,0893	0,0061
System with an additional support	$m_1 = 10t$; $k_1 = 4200$ kN/m	k_2 (kN/m) 500	0,0629	0,0856	0,0061
		1000	0.0644	0.0796	0.0061
		1500	0.0591	0.0696	0.0061
		2000	0.0728	0.0514	0.0061
		2500	0.0704	0.0289	0.61

5 CONCLUSIONS

In the present study, the effect of the duration of transient regimes on displacement amplitudes was studied (**Table 1**). Increasing the time intervals in transient modes gave different effects. An increase in the time interval by 33% led to an increase in displacement by 9-17% for all vibration isolation options. When stopping, an increase in time by 67% resulted in an increase in the amplitude of movements by 20%-42%. In operating mode, the oscillation amplitudes did not change, which indicates stability of operation during operation and possible malfunctions during startup or shutdown of the structure.

REFERENCES

1. **Chernov, Y. T.** (2011). Vibrations of building structures. (Analytical methods of calculation. Fundamentals of design and standardization of vibrations of building structures subject to operational dynamic influences) [Vibracii stroitelnyh konstrukcij. (Analiticheskie metody rascheta. Osnovy proektirovaniya i normirovaniya vibracij stroitelnyh konstrukcij, podvergayushihnya ekspluatacionnym dinamicheskim vozdejstviyam)]. Moscow: ASV Publishing House. (In Russ.).
2. **Dubin, A. A., Imambayeva, R. S., Imambaev, N. S., Polyakova, I. M., & Sadyrov, R. K.** (2023). Building Information Modelling: Rules for the Formation of an Information Model of

- Facilities at Different Stages of the Life Cycle. International Journal of GEOMATE, 25(109), 117-124. <https://doi.org/10.21660/2023.109.m2311>
3. **Hongnan, L., & Linsheng, H.** (2010). Advances in Structural Control in Civil Engineering in China. Mathematical Problems in Engineering, 2010(1), 936081. <http://dx.doi.org/10.1155/2010/936081>
 4. **Ivovich, V. A.** (1984). Vibration-isolated systems with nonlinear characteristics. Dynamic calculation of buildings and structures, section 15 [Vibroizolirovannyye sistemy s nelinejnymi harakteristikami. Dinamicheskij raschet zdaniy i sooruzhenij, razdel 15]. Moscow: Stroyizdat. (In Russ.).
 5. **Khan, W., Akhtar, S., & Hussain, A.** (2014). Non-linear time history analysis of tall structure for seismic load using damper. International Journal of Scientific and Research Publications, 4(4), 1-5. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/288829046_Non-Linear_time_history_analysis_of_tall_structure_for_seismic_load_using_damper
 6. **Krylov, N. M., & Bogolyubov, N. N.** (2004). Introduction to nonlinear mechanics [Vvedenie v nelinejnyuyu mehaniku]. Moscow-Izhevsk: Scientific Research Center "Regular and Chaotic Dynamics. (In Russ.).
 7. **Martinez-Rodrigo, M., & Romero, M. L.** (2003). An optimum retrofit strategy for moment resisting frames with nonlinear viscous dampers for seismic applications. Engineering structures, 25(7), 913-925. [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(03\)00025-7](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(03)00025-7)
 8. **Osipova, M. V.** (2013). Calculation of vibration-isolated systems for dynamic loads using transfer functions [Raschet vibroizolirovannyh sistem na dinamicheskie nagruzki s ispolzovaniem peredatochnyh funkcij]. Moscow: Earthquake-resistant construction. Safety of structures. Retrieved from: <http://www.seismic-safety.ru/?q=article/466> (In Russ.).
 9. **Osipova, M. V.** (2014). Method for calculating vibration protection systems as systems with three degrees of freedom in transient modes [Metod rascheta vibrozashitnyh sistem kak sistem s treya stepenyami svobody v perehodnyh rezhimah]. Moscow: Earthquake-resistant construction. Safety of structures, (1), 31-34. Retrieved from: <http://www.seismic-safety.ru/?q=article/438> (In Russ.).
 10. **Polyakova, I. M., Imambayeva, R. S., & Aubakirova, B. M.** (2021). Determining the dynamic characteristics of elastic shell structures. International scientific publication included in the Scopus database. East European Journal of Advanced Technologies, 6(7(114)), 43–51. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245885>
 11. **Polyakova, I. M., Imambayeva, R. S., Aubakirova, B. M., Shogelova, N. T., Glyzno, Y. D., & Zhmagulova, A. A.** (2022). Determining static characteristics of corrugated shell elements made from composite materials. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6(7(120)), 63–76. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.269399>
 12. **Rodriquez, S., Seim, C. & Ingham, T.** (1994). Earthquake protective systems for the seismic upgrade of the Golden Gate bridge. IABSE reports - Rapports AIPC - IVBH Berichte. <https://doi.org/10.5169/seals-55199>
 13. **Solodovnikov, V. V.** (1960). Statistical dynamics of linear automatic control systems [Statisticheskaya dinamika linejnyh sistem avtomaticheskogo upravleniya]. Moscow: Fizmatgiz. (In Russ.).
 14. **Soong, T. T., & Dargush, G. F.** (1999). Passive Energy Dissipation and Active Control. Structural Engineering Handbook. Boca Raton: CRC Press LLC. Retrieved from: <http://freeit.free.fr/Structure%20Engineering%20HandBook/27.pdf>
 15. **TsNIISK named after V. A. Kucherenko** (1986). Recommendations for vibration protection of load-bearing structures of industrial buildings [Rekomendacii po vibrozashite nesushih konstrukcij proizvodstvennyh zdaniy]. Moscow: TsNIISK. Retrieved from: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001469295?ysclid=lt4I3e6z328191872> (In Russ.).

THE DETERMINATION OF THE OPTIMAL COMPOSITION OF AN ARBOLITE WALL PANEL USING MATHEMATICAL METHODS AND THE CALCULATION OF ITS STRESS STATE

S.S. Uderbayev^{1*} , S. Zhanatuly¹ , N.B. Alibekov² , K.A. Bissenov¹ ,
K.A. Yerimbetov² , B.G. Amantay¹ 

¹Korkyt Ata Kyzylorda University, 120001, Kyzylorda, Kazakhstan

²Kyzylorda Open University, ҚЫЗЫЛОРДА, 120016, Kyzylorda, Kazakhstan

Abstract. *In the article, the optimal composition of the arbolite mixture was determined using a preliminary mathematical method for the manufacture of wall panels. With the help of optimal compositions, wall panels were manufactured and its stress state under load was calculated. For the production of arbolite products, the advanced technology of pressed arbolite, manufactured by conveyor method, has been applied. Using the methods of mathematical planning of experiments, the optimal composition was determined – the ratio of rice husk and a multicomponent binder with high strength. A method for calculating the stress state of wall plates based on rice husk and its straw with an internal thermal insulation layer of class B1 arbolite has been developed. Formulas for determining the distribution of tangential stresses along the longitudinal axis of a wall panel along its thickness are obtained. Deviations of the wall plate under the action of an off-center longitudinal load are determined. An experimentally developed method for calculating wall plates has been tested and confirmed. Experimental data on the testing of wall panels based on rice husk and straw of natural size have shown sufficient reliability and adequacy. The water absorption of arbolite based on rice husk and multicomponent binder was 24%, and the thermal conductivity $\lambda = 0.18-0.19$ W/(m·°C). The resulting arbolite has a frost resistance of 30-35 cycles.*

Keywords: *rice husk, multicomponent binder, optimal composition, wall panel made of arbolite, stress state, mathematical calculations.*

***Corresponding author**

Saken Uderbayev, e-mail: saken.uderbayev@gmail.com

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-13>

Received 18 April 2024; Revised 20 May 2024; Accepted 10 June 2024

АРБОЛИТТІК ҚАБЫРҒАЛЫҚ ТАҚТАЛАРДЫҢ ОҢТАЙЛЫ ҚҰРАМЫН МАТЕМАТИКАЛЫҚ ӘДІСПЕН АНЫҚТАУ ЖӘНЕ ОНЫҢ КЕРНЕУЛІ КҮЙІН ЕСЕПТЕУ

С.С. Удербаев^{1*} , С. Жанатұлы¹ , Н.Б.Алибеков² , Қ.А.Бисенов¹ ,
К.А.Еримбетов² , Б.Ғ.Амантай¹ 

¹ Қорқыт ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, 120001, Қазақстан

² Қызылордалық ашық университеті, Қызылорда, 120016, Қазақстан

Андатпа. Мақалада қабырға панельдерін дайындау үшін алдын ала математикалық әдіспен арболит қоспасының оңтайлы құрамы анықталды. Оңтайлы құрамдар арқылы қабырға панельдері жасалып, жүктеме астындағы оның кернеулі күйін есептеу орындалды. Арболит бұйымдарын өндіру үшін конвейерлік әдіспен жасалатын престелген арболиттың озық технологиясы қолданылды. Эксперименттерді математикалық жоспарлау әдістері арқылы жоғары беріктікке ие күрделі байланыстырғыш зат пен күріш қауызының оңтайлы қатынасы анықталды. Күріш қауызы және оның сабаны негізіндегі ішкі жылу оқшаулағыш қабаты бар В1 класты арболит қабырға панельдерінің кернеулі күйін есептеу әдісі жасалды. Қабырға панелінің қалыңдығы бойынша оның ұзындық осі бойындағы жанама кернеулерді анықтау формулалары алынды. Эксцентрлік бойлық жүктеме әсерінен қабырға панелінің ауытқулары анықталды. Қабырға панельдерін есептеу әдісі эксперименталды түрде тексеріліп, расталды. Табиғи өлшемдегі күріш қауызы және сабаны негізіндегі қабырға панельдерін сынау бойынша эксперименталды деректер олардың жеткілікті сенімділігі мен сәйкестігін көрсетті. Күріш қауызы және күрделі байланыстырғыш зат негізіндегі арболиттың су сіңірімділігі 24% құрады, ал жылу өткізгіштік коэффициенті $\lambda = 0,18-0,19 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$. Алынған арболиттың аязға төзімділігі 30-35 циклді құрады.

Түйін сөздер: күріш қауызы, көпкомпонентті байланыстырғыш зат, оңтайлы құрам, арболиттік қабырғалық тақта, кернеулі күй, математикалық есептеу.

***Автор-корреспондент**

Сакен Удербаев, e-mail: saken.uderbayev@gmail.com

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-13>

Алынды 18 сәуір 2024; Қайта қаралды 20 мамыр 2024; Қабылданды 10 маусым 2024.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА АРБОЛИТОВОЙ СТЕНОВОЙ ПАНЕЛИ МАТЕМАТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ И РАСЧЕТ ЕЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

С.С. Удербаев^{1*} , С. Жанатұлы¹ , Н.Б. Алибеков² , К.А.Бисенов¹ ,
К.А.Еримбетов² , Б.Г.Амантай¹ 

¹ Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, 120001, Казахстан

² Кызылординский открытый университет, Кызылорда, 120016, Казахстан

Аннотация. В статье для изготовления стеновых панелей предварительно математическим методом был определен оптимальный состав арболитовой смеси. С помощью оптимальных составов были изготовлены стеновые панели и выполнен расчет его напряженного состояния под нагрузкой. Для производства арболитовых изделий применена прогрессивная технология прессованного арболита, изготавливаемого конвейерным способом. С помощью методов математического планирования экспериментов был определен оптимальный состав – соотношения рисовой лузги и многокомпонентного вяжущего вещества имеющего высокую прочность. Разработан метод расчета напряженного состояния стеновых плит на основе рисовой лузги и ее соломы с внутренним теплоизоляционным слоем из арболита класса В1. Получены формулы для определения распределения тангенциальных напряжений вдоль продольной оси стеновой панели по ее толщине. Определены отклонения стеновой плиты под действием внецентренной продольной нагрузки. Проверен и подтвержден экспериментально разработанный метод расчета стеновых плит. Экспериментальные данные по испытанию стеновых панелей на основе рисовой лузги и соломы естественных размеров показали достаточную надежность и адекватность. Водопоглощение арболита на основе рисовой лузги и многокомпонентного вяжущего вещества составила 24%, а теплопроводность $\lambda = 0,18-0,19$ Вт/(м·°С). Полученный арболит имеет морозостойкость-30-35 циклов.

Ключевые слова: рисовая лузга, многокомпонентное вяжущее вещество, оптимальный состав, стеновая панель из арболита, напряженное состояние, математические расчеты.

*Автор-корреспондент

Сакен Удербаев, e-mail: saken.uderbayev@gmail.com

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-13>

Поступила 18 апреля 2024 г.; Пересмотрено 20 мая 2024 г.; Принято 10 июня 2024 г.

ACKNOWLEDGEMENTS/SOURCE OF FUNDING

The study was conducted using private sources of funding.

CONFLICT OF INTEREST

The authors state that there is no conflict of interest.

АЛҒЫС / ҚАРЖЫЛАНДЫРУ КӨЗІ

Зерттеу жеке қаржыландыру көздерін пайдалана отырып жүргізілді.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

БЛАГОДАРНОСТИ/ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование проводилось с использованием частных источников финансирования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

1 КІРІСПЕ

Қазіргі құрылыс индустриясының басты мақсаттарының бірі тиімді құрылыс материалдарын, конструкцияларын және бұйымдарын пайдалану болып табылады. Бұл мақсатқа жету үшін озық технологияларды, жергілікті шикізатты және техногенді қалдықтарды қолдану қажет. Сонымен қатар, құрылыс технологиясын арзандату және жетілдіру, құрылыс материалдарының өзіндік құнын төмендету де негізгі мәселелердің бірі саналады.

Бұл міндеттерді толығымен шешу үшін тиімді құрылыс материалдарын, соның ішінде көптоннаждық және жаңартылатын өсімдік тектес ауыл шаруашылық қалдықтарын кеңінен пайдалану қажет. Мысалы, ауыл шаруашылық қалдықтары ретінде күріш қауызы, күріш сабаны, мақта сабақтары, қарасора және бидай сабақтарын атап өтуге болады. Осы аталған екіншілік шикізаттар негізінде құрылыс конструкциялары мен бұйымдарды дайындағаннан кейін олардың физикалық-механикалық қасиеттерін одан әрі зерттеу қажет. Осындай материалдардың бірі ретінде арболитті - жылу изоляциялық материалды жатқызуға болады.

Күріш қауызы, күріш сабаны, бидай сабақтары және басқа да органикалық қалдықтарды жеңіл бетонға қажетті мол шикізат көзі ретінде қарастыруға болады. Бұл бір жағынан композициялық құрылыс материалдарын өндіруді арттыруға септігін тигізеді. Мысалы, күріш қауызы, зығыр және дәнді дақылдардың сабаны сияқты ауылшаруашылық қалдықтарын толтырғыш ретінде пайдалануға болады. Қазіргі уақытта бұл қалдықтар аз мөлшерде қолданылып, көп жағдайда далада қалып, өртеліп жойылып жатыр, бұл экологиялық жағынан қоршаған ортаға зиянды әсерін тигізеді.

Құрылыс саласында аз қабатты үй құрылысын дамытудың бір бағыты өсімдік тектес ауыл шаруашылық қалдықтарына негізделген бетоннан жасалған үйлердің құрылысын көбейту болып табылады. Бұл үшін қабырғалардың жүк көтергіштігін арттырумен қатар, олардың беріктігі мен деформациялық қасиеттерін анықтау мәселесін шешу қажет. Сонымен қатар, жеңіл қабырғалық конструкцияларды салудың арнайы технологиялық әдістерін жасау үшін бірқатар ғылыми және техникалық сұрақтарды анықтап шешу керек.

Құрылыс индустриясында органикалық толтырғыштар негізінде арболит, ксилолит, фибролит сияқты құрылыс материалдарын пайдалану мүмкіндіктері өткен ғасырдың басынан бастап зерттеліп, тәжірибелік жағдайда қолданылып келе жатыр. Сол уақыттан бері отандық ғалымдар елімізде түрлі органикалық толтырғыштар мен минералды байланыстырғыш негізіндегі арболиттік конструкцияларды экспериментальдық және өндірістік зерттеулерді бастады. Қазіргі уақытта, бұл құрылыс материалдары тұрғын үй мен азаматтық құрылыста өткен ғасырдың ортасынан бері қолданып келеді.

Осы бағытта отандық және шетелдік ғалымдар, ғылыми-жобалық және өндірістік ұйымдар органикалық толтырғыштар негізінде жаңа композициялық материалдарды жасау және олардың құрамын ойлап табумен айналысуда. Сонымен қатар, алдыңғы қатарлы заманауи құрылыс конструкцияларын жобалау арқылы жеңіл композициялық материалдарды жасау технологиясын жетілдіру және олардың қасиеттерін жақсарту бойынша көптеген жұмыстар атқарылды.

Әдебиеттік шолуларға сәйкес, осы уақытқа дейін келесі шетелдік ғалымдар ([Marques et al., 2019](#); [Marques et al., 2021](#); [Romasanta et al., 2017](#); [Bisht et al., 2020](#)) органикалық, яғни өсімдік тектес ауыл шаруашылық қалдықтарын тиімді пайдаланудың жаңа әдістерін жасаумен айналысты. Мұндай бұйымдарды қолданудың тиімділігі көптеген зерттеулермен және өндіріске енгізудің практикалық нәтижелерімен дәлелденген. Қазіргі таңда, өсімдік тектес органикалық толтырғыштар негізінде қабырғалық тақталардың ең тиімді конструктивтік шешімдерін жасау және оларды өндірудің ұтымды технологиясын анықтау өзекті мәселе болып табылады.

2 ӘДЕБИЕТКЕ ШОЛУ

Өсімдік тектес ауыл шаруашылық органикалық толтырғыштар негізіндегі композициялық құрылыс материалдарын өндіру технологиясы бетон және темірбетон технологияларына ұқсас. Басқа елдердегі арболит өндіретін кәсіпорындар өз әдістерімен, сұрыптау құрылғыларымен, дайын өнімдерінің кең номенклатурасымен және пайдаланылатын органикалық толтырғыштардың түрімен ерекшеленеді. Сонымен қатар, бұл ерекшеліктер органикалық шикізаттардың қорларына және әр аймаққа тән толтырғыш түрлеріне байланысты.

Арболит өндіру және оның технологиясын жетілдіру жолдарын зерттеумен көптеген танымал ғалымдар айналысқан, олардың ішінде Ақчабаев А.А., Батырбаев Г.А., Бужевич Г.А., Бухаркин Б.И., Мещерякова И.П., Наназашвили И.Х., Рыбьев И.А., Савин В.И., Склизко Н.И., Щербачев А.С., Хрулев В.М., Шмидт Л.М., Граф И., Нгуен Ван Тхинь бар.

Өсімдік тектес ауыл шаруашылықтың жанама қорларын қолдану арқылы жеңіл композиттер шығару мүмкіндігі бірнеше шетел ғалымдарының жұмыстарынан көрінеді. Жеңіл композиттердің беріктігін арттырудың бір жолы - ауыл шаруашылықтың әртүрлі жанама өнімдерінің бетін модификациялау екенін (Yu & Xu, 2014) зерттеуінде көрсетілген. Бұл жұмыста автор композиттік материалдарды алудың негізгі ерекшеліктері ретінде целлюлоза қосылыстары бар толтырғыштардың қол жетімділігін, төмен құнын және жаңартылуын атап өтеді. Осыған байланысты үнемді және экологиялық таза құрылыс материалын алуға болатыны көрсетілген.

Зерттеу барысында бидай мен күріш сабаны, күріш қауызы, күріш қауызының күлі, жүгері сабағы, банан талшығы және ананас жапырағының талшығы секілді лигноцеллюлоза биомассасының полимер матрицаларын нығайту үшін тиімді пайдаланылатыны дәлелденген. Алайда, осы органикалық массадан алынатын гидрофильді арматуралық элементтер мен гидрофобты матрицалардың үйлесімсіздігі жеңіл композиттің механикалық сипаттамаларын төмендетеді.

Кейбір зерттеуші ғалымдар (Grünwald et al., 2012) зерттеуінде сабан, күріш қауызы немесе целлюлоза сияқты лигноцеллюлоза материалдарымен қатар, былғары өндірісінде пайда болатын қосымша қалдықтарды ағаш тақтайшаларын өндіруге арналған перспективалы жаңа шикізат ретінде қарастырды. Бұл қалдықтар жоғары қолжетімділікпен қатар, эксперимент нәтижелеріне сүйене отырып, олардың қасиеттерін жақсартады. Бұл қасиеттерге отқа төзімділік пен механикалық сипаттамалар жатады. Эксперимент нәтижесінде 42,5% ағаш талшықтары, 42,5% тері бөлшектері және 15% лигнинді желім қоспасынан тұратын араласпаны пресстеу әдісімен тақта жасалды.

Ағаш-талшықты тақтайшаларды (ДВП) өндіруде ағаштың орнын толықтыру және ауыстыру үшін өсімдік тектес ауылшаруашылық талшықтарын пайдалану қызығушылық тудырып отыр. Тағы бір ғалымдардың (Youngquist et al., 1996) зерттеуінде ауылшаруашылық талшықтарын осы мақсатта жалғыз немесе басқа материалдармен бірге қалай пайдалануға болатыны туралы шолу жасалған. Солтүстік Америкада оңай қол жетімді талшықты материалдарға қызылша целлюлозасы, бидай сабаны, жүгері сабағы, мақта сабағы, кенаф, күріш қауызы және күріш сабаны жатады, және оларды жеңіл композиттер жасауға пайдаланып жатыр. Авторлар өздерінің ғылыми жұмыстарының қорытындысында аталған органикалық қалдықтардан тақталар жасаудың стандарттарын жасады. Зерттеу нәтижелері бойынша тақталар жасауға ең тиімдісі целлюлоза, бидай сабаны және кенаф екенін көрсетті.

Бірнеше авторлар (Yao et al., 1996) эксперименттік жұмыстар барысында композиттік тақталарды алу үшін қайта өңделген жоғары тығыздықтағы полиэтилен мен күріш сабанының төрт компонентін – күріш қауызы, күріш сабанының жапырағы, күріш сабанының сабағы және тұтас күріш сабанын – және ағаш талшықтарын қолданып жасады. Бұл жұмыста авторлар полиэтиленді балқытып, оны жоғарыда аталған төрт компонентпен араластырып, пресстеу арқылы композиттік материал алды. Зерттеу көрсеткендей, күріш сабанының талшықтары

арматуралық толтырғыш ретінде жоғары тығыздықтағы полиэтиленмен жақсы үйлеседі. Сонымен бірге, күріш қауызынан жасалған композиттік панельдер ең төмен серпімділік модулімен ерекшеленді. Алайда, олардың соққыға төзімділігі басқа сабан талшықтарымен салыстырғанда бірдей болғанын атап өту керек.

Жасанды құрылыс конгломераты – бетонның беріктігін арттыру үшін күріш қауызының күлін (КҚК) минералды қоспа ретінде қолданудың тиімділігін көптеген ғалымдар дәлелдеген. **Chabi et al. (2024)** зерттеуінде авторлар КҚК қоспасын бетон құрамында құмды толығымен алмастырушы ретінде зерттеген. Күріш қауызының физика-химиялық қасиеттерін мұқият сипаттағаннан кейін бірнеше құрам дайындалып, бірқатар сынақтар жасалды. Олар күріш қауызына негізделген бетонды жүк көтергіш қабырғалардан бетон тақталарға дейін қолдануға болатынын атап өтті. Алынған конструкцияның механикалық қасиеттері қанағаттанарлық екенін көрсетті. Құрамына байланысты сығу беріктігі 0,56 МПа-дан 5,41 МПа-ға дейін, ал жылу өткізгіштігі 0,070 -ден 0,129 Вт/м²°С аралығында өзгергенін атап өтті.

Көптеген ғалымдар құрылыс секторы қоршаған ортаға үлкен әсер ететіндіктен, өсімдік толтырғыштарын қолдана отырып, экологиялық таза бетон материалдарын жасауды бірінші кезектегі өзекті мәселелердің бірі деп санайды. Мұндай бетон түрі жақсы жылу-физикалық қасиеттері бар төмен көміртекті материалға көшуге мүмкіндік береді. Осы бағытта ғалымдар **Chabannes et al. (2014)** өз жұмыстарында әк негізіндегі байланыстырғышпен араласқан қарасорадан жасалған қарасора бетонның және күріш қауызын қолданатын инновациялық оқшаулағыш бетонды әзірледі. Түрлі пропорциядағы құрамдарға байланысты күріш қауызы негізіндегі бетонның жылу өткізгіштігі шамамен 0,10 мен 0,14 Вт/м²°С аралығында болатынын және оның қарасора негізіндегі бетонмен салыстырмалы екенін анықтады.

Авторлар **Sisman et al. (2014)** зерттеуінде күріш қауызы негізіндегі бетонның термиялық, механикалық және физикалық қасиеттерін зерттеген. Кәдімгі толтырғышқа күріш қауызының мөлшері қосымша ретінде 5%, 10%, 15%, 20%, 25% және 30% көлемінде қосылып дайындалды. Алынған бетонның орташа тығыздығы 1797 кг/м³-ден 2268 кг/м³-ге дейін, ал оның сығу беріктігі 17,6 МПа-дан 37,5 МПа-ға дейін өзгерді. Зерттеу нәтижелері бетонның аязға төзімді екенін және су сіңірімділігінің 5,5%-дан төмен болғанын көрсетті. Қорытындылай келе, мұндай көрсеткіштер күріш қауызы негізіндегі бетонның беріктігін, төзімділігін және оқшаулау қасиеттерін жақсартатынын растайды. Осыны ескере отырып, күріш қауызын жеңіл бетон өндіруге және оны ауылшаруашылық ғимараттарында пайдалануға арналған тиімді екіншілік шикізат қоры ретінде пайдалануға болатындығы анықталды.

Арболит құрамында ауылшаруашылық және өнеркәсіптік өндіріс қалдықтарын пайдалану мүмкіндіктерін **Kazimagomedov et al. (2023)** авторлар қарастырған. Пайдалану қасиеттерін жақсарту мақсатында қарасора толтырғыш ретінде, ал ферросилиций өндірісінің дымқыл газдан тазартылған шламдары байланыстырғышқа қосымша ретінде пайдаланылды. Мақалада осы қоспалардың арболиттің сығу және иілу кезіндегі беріктігін арттыруға әсері зерттелді. Бұл жұмыста ферросилиций өндірісінің шламы мен қарасора үгінділерін пайдалану экологиялық мәселені, атап айтқанда ауылшаруашылық және өнеркәсіптік қалдықтарды жоюға ықпал ететіні анықталды.

Ауыл шаруашылығы секторында өсімдік тектес қалдықтарды басқару және оларды утилизациялау маңызды мәселелердің бірі болып отыр. **Singh et al. (2022)** авторлар осы мәселеге қатысты күріш сабанын қолдану арқылы қабырға аралық гипсті қуыс денелі блоктар жасауды қарастырған. Гипсті пайдалану арқылы әртүрлі құрамда дайындалған үлгілердің тығыздығы, беріктігі, дыбыс сіңірімділігі және отқа төзімділік қасиеттері зерттелді. Олар күріш сабанының сыналатын үлгілердің беріктігі мен тығыздығын азайтып, жеңілдететінін және оны көтергіш емес қабырғаларда қолдануға болатынын анықтады. Жылу өткізгіштігі 0,2 пен 0,11 Вт/м²°С аралығында болды. Сонымен қатар, оның дыбыс сіңіргіштігі мен отқа төзімділігі қанағаттанарлық екенін эксперимент нәтижелері көрсетті. Болашақта агроқалдықтар негізіндегі гипсті қуыс блоктарды гипсті картоннан жасалған қабырғалардың орнына пайдаланудың тиімді екенін көрсетті.

«Органикалық толтырғыштар + минералды байланыстырғыштар» жүйесіндегі жасанды құрылыс конгломераты изоморфиялық шарттарға сай келмейді. Қарапайым бетондарда толтырғыштар байланыстырғыш заттармен байланысқа түсіп, жанасу жерлерінде кешенді гидратты байланыстар түзеді. Күріш қауызы мен сабаны негізіндегі арболиттің беріктігін анықтайтын маңызды факторлардың бірі - жоғары беткі қабаттардағы бөлшектердің әртүрлі жағдайларда жабысуы, яғни адгезиясы болып табылады.

Арболитті өндіру технологиясы бетон және темірбетон технологияларына ұқсас келеді. ТМД елдеріндегі арболит өндіретін кәсіпорындар өз әдістерімен, сұрыптау құрылғыларымен, дайын өнімдердің номенклатурасының кеңдігімен және толтырғыш түрлерімен ерекшеленеді. Бұл үшін әрбір ауданға тән толтырғыштардың сипаттамасын білу және шикізат қорларын тиімді пайдалану қажет.

Жоғарыда келтірілген ғылыми жұмыстарды қорытындылай келе, арболит бұйымдарын өндірудің өзіндік құнын төмендету үшін арболиттік қабырғалық тақтаның оңтайлы құрамын анықтау және оны пайдалану кезіндегі кернеулі күйін есептеу маңызды болып табылады.

Осы мақсатқа сәйкес келесі міндеттерді шешу қолға алынды:

- Көпкомпонентті байланыстырғыш зат пен күріш қауызы мен сабаны негізіндегі арболиттің оңтайлы құрамын анықтау үшін математикалық тәжірибені жоспарлау;
- Сығылған және иілген күріш қауызы негізіндегі қабырғалық тақталардың кернеулі күйін математикалық анықтау;
- Сығылған және иілген күріш қауызы негізіндегі қабырғалық тақталардың деформациялық күйін есептеу.

3 МАТЕРИАЛДАР МЕН ӘДІСТЕР

Өсімдік тектес ауыл шаруашылық қалдықтары негізіндегі арболит жасау технологиясы кәдімгі кеуекті бетон өндіру технологиясына ұқсас. Айырмашылығы - органикалық целлюлоза толтырғыштары ерекше материал ретінде барлық технологиялық процестерге өзгеріс енгізеді. Өсімдік тектес ауыл шаруашылық органикалық толтырғыштар негізіндегі арболит өндіру технологиясы төмендегі кезеңдерден тұрады:

- Органикалық толтырғыштардың түйіршіктеріне байланысты сұрыптап дайындау;
- Органикалық толтырғыштарды өңдеу;
- Арболиттің компоненттерін мөлшерлеу;
- Арболит араласпасын дайындау;
- Арболит араласпасын қалыпқа салып нығыздау;
- Қалыпталған тақталарды жылумен өңдеу;
- Жылы температурада бұйымды өңдеу;
- Дайын тақталарды қоймаға тасымалдау.

Арболиттің құрамына қосылатын өсімдік тектес ауыл шаруашылық органикалық толтырғыштар күрделі химиялық құрамымен ерекшеленеді. Көпкомпонентті байланыстырғыш зат негізіндегі арболит араласпасын дайындау процесінде органикалық толтырғыштар басқа компоненттермен араласады.

Беріктігіне байланысты көпкомпонентті байланыстырғыш зат негізіндегі арболит екі класқа бөлінеді: жылуөткізгіш В 0,35; В 0,75; В 1,0 және конструкциялық В 1,5; В 2,0; В 2,5; В 3,5. Қабырғалық материалдарды жасау үшін көпкомпонентті байланыстырғыш зат негізіндегі арболиттің құрамын математикалық әдіспен анықтау мақсат етілді. Мысалы, В 2,5 класты арболиттің құрамы (кг/м³): портландцемент М500 - 330, органикалық толтырғыштар - 220, су - 390, кальций хлориді - 6,6. Минерализатор ретінде сұйық шыны және алюминий тұзы қосылған кешенді қоспалар қолданылады. Күріш қауызы мен сабаны негізіндегі арболиттің техникалық қасиеттерін жақсарту үшін байланыстырғыш заттың құрамына Қызылорда ЖЭО күлі қосылды ([Uderbayev, 2008](#); [Zhanatuly et al., 2024](#)).

Күріш қауызы мен сабаны негізіндегі арболиттің орташа тығыздығы мен сығу беріктігі стандартты әдістермен анықталды. Арболиттің физикалық-механикалық қасиеттері технологиялық факторларға байланысты. Олардың негізгілері төмендегідей:

- Көпкомпонентті байланыстырғыш зат негізіндегі арболит құрамының оңтайлылығы;
- Бұйымды алудың оңтайландырылған технологиялық параметрлері;
- Көпкомпонентті байланыстырғыш зат негізіндегі арболиттің қатаю режимі.

Эксперименттерді орындау барысында кешенді физика-механикалық әдістер қолданылды. Күріш қауызы мен сабаны негізіндегі арболиттің негізгі қасиеттері МемСТ 25820-83 стандарты бойынша 10x10x10 см үлгілерін сынау арқылы анықталды. Ұсынылған технология бойынша дайындалған бұйымның су сіңірімділігін анықтау үшін 70x70x70 мм кубиктерде арболит үлгілері дайындалды. Зерттелетін үлгілер 48 сағат бойы қаныққан суда ұсталып, кейіннен стандартты әдіс бойынша су сіңірімділігі анықталды. Үлгінің су сіңірімділігі (% масса бойынша) мына формуламен есептеледі:

$$W = \frac{m_1 - m}{m} \cdot 100, \quad (1)$$

мұндағы, m – құрғақ үлгінің массасы, г; m_1 – суда қаныққан үлгінің массасы, г.

Орташа, нақты тығыздық пен кеуектілік құрылыс материалдарының физикалық жағдайын толығымен сипаттайды.

Орташа тығыздық - заттың табиғи күйіндегі салмағының көлем бірлігіне қатынасы. Өлшем бірлігі: г/см³, кг/м³.

$$\rho_o = \frac{m}{V_1} \quad (2)$$

мұнда m - заттың салмағы (г);

V_1 - материалдың жаратылыс күйіндегі көлемі, см³.

Кеуектілік – материал көлемінің ішкі бөлігін кеуектер алып жатқан бөлігін көрсететін шартты мән.

$$K = (1 - \frac{\rho_o}{\rho}) \cdot 100, \quad (3)$$

Мұнда, ρ_o – орташа тығыздық, г/см³; ρ – нақты тығыздық, г/см³.

Кеуектер құрылыс материалының құрылымында ұяшық түрінде орналасады. Өлшемі жағынан олар бірнеше миллиметрден миллиондаған бөліктік миллиметрге дейін барады.

Күріш қауызы мен сабаны негізіндегі арболиттің аязға төзімділік қасиеттері МемСТ 10060-87 құжатнамасының талаптарына сай анықталды.

Жасалған эксперименттік зерттеулердің нәтижелері бұл мәліметтердің шашыраңқылығы қалыпты орналастыру заңына (Гаусс заңы) сәйкес келетінін көрсетті. Материалдың қасиеттерінің сипаттамаларына орташа көрсеткіштер: орташа арифметикалық (M), шаршының орташа ауытқуы (δ) және орташа қателік (m) келесі формулалармен анықталды:

$$M = \Sigma V / n, \quad (4)$$

$$m = \pm \delta / \sqrt{n}, \quad (5)$$

$$\delta = \pm \sqrt{\Sigma x^2 / n - 1}, \quad (6)$$

мұндағы, ΣV – барлық нәтижелердің қосындысы; n – нәтижелердің саны; Σx^2 – орташа арифметикалықтан барлық шаршылардың ауытқуының қосындысы. Алынған нәтижелердің орташа мәндерін табу үшін тура анықтау әдісі қолданылды. Сол себепті эксперименттердің

саны 25-тен артық емес болды. Анықталатын орташа мәннің нақтылығын қамтамасыз ету үшін үлгілердің (n) санын алдын-ала белгілеп алу керек.

Арболит бұйымдары мен конструкциялары технологиясында қолданылатын көпкомпонентті байланыстырғыш заттың қасиеттерін зерттеуде көптеген құралдар қолданылды. Сонымен қатар, арболит үлгілерінің жылу өткізгіштік қасиеттері ИТП-МГ4 құралы арқылы анықталды.

4 НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

Қазіргі кезде құрылыс саласының едәуір дамуына байланысты құрылыс материалдарының қасиеттеріне, құрылымына және экологиялық-экономикалық тиімділігіне үлкен талаптар қойылып отыр. Өндіріс қалдықтарын қолдану барысында алынған құрылыс материалының сапасын төмендетпеуге ерекше назар аудару қажет. Бұл талаптардың көбісін қымбат портландцементтің орнына екіншілік минералдық өндіріс қалдықтарын қолдану арқылы шешуге болады.

Эксперименттер барысында көпкомпонентті байланыстырғыш зат пен күріш қауызы негізінде бірнеше арболит үлгілері дайындалды.

4.1 КӨПКОМПОНЕНТТІ БАЙЛАНЫСТЫРҒЫШ ЗАТ НЕГІЗІНДЕГІ АРБОЛИТТІҢ ОҢТАЙЛЫ ҚҰРАМЫН МАТЕМАТИКАЛЫҚ ТӘЖІРИБЕМЕН ЖОСПАРЛАУ ЖӘНЕ АНЫҚТАУ

Дайын бұйымның сапасы мен пайдалану көрсеткіштері қолданылатын шикізат материалдарының және барлық факторлардың физикалық-химиялық құрамын, қасиеттерін немесе құрылымына әсер ететін процестерді мұқият тексеру арқылы анықталды.

Көпкомпонентті байланыстырғыш пен күріш қауызы негізіндегі арболиттің оңтайлы құрамын анықтау мақсатында математикалық тәжірибелер жүргізілді. Яғни, 28 тәулікте ұсталған көпкомпонентті байланыстырғыш зат қосылған күріш қауызы мен оның майдаланған сабаны негізіндегі арболиттің сығу беріктіктері зерттелді.

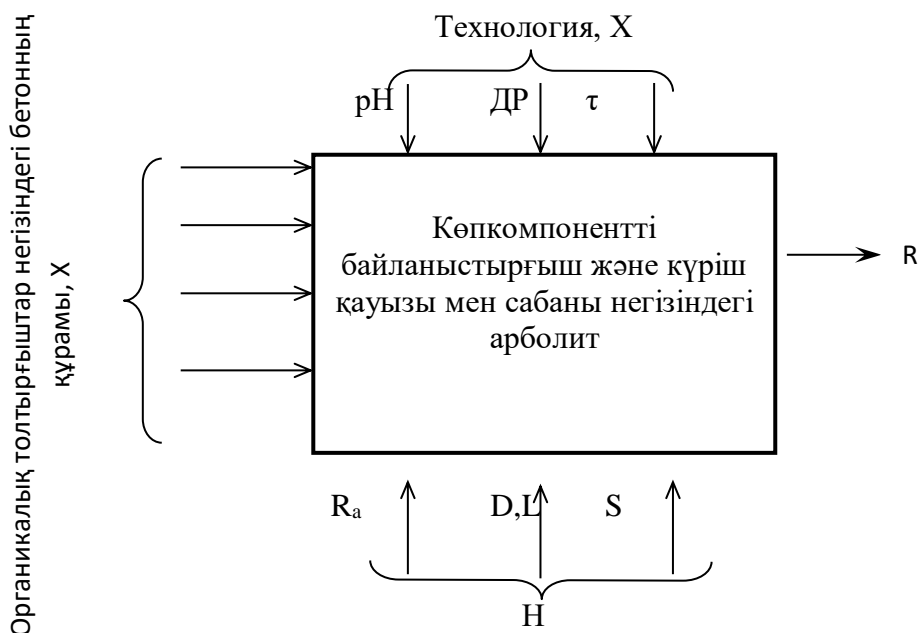
Көпкомпонентті байланыстырғыш пен күріш қауызы мен сабаны негізіндегі арболитті жүйе ретінде қарастырылды. Бұл жүйені зерттеу барысында оның сыртқы ортамен әсерлесуі және ішкі ортаның жеке элементтерімен әрекеттесуі есепке алынды. Математикалық тәжірибені жоспарлы орындау кезінде ішкі байланыс сызбасы жасалып, жүйе ену және шығу параметрлері бар (1 сурет) жүйе ретінде қарастырылды.

Осындай жағдай арқылы, бақылаусыз факторды – шу (Z) қоспағанда, математикалық моделді төмендегі (7) теңдеу жүйесіне келтіруге болады:

$$Y_i = \varphi_i(H, X) \quad (7)$$

Композициялық құрылыс материалы арболиттің механикалық қасиеттеріне цемент пен органикалық толтырғыш арасындағы қатынас әсер етеді. Сондықтан портландцемент пен күріш қауызы мен сабанының беріктігін анықтау үшін математикалық тәжірибені жоспарлау тәсілі қолданылып, арболиттің оңтайлы құрамы есептелді.

Көпкомпонентті байланыстырғыш зат пен күріш қауызы мен сабаны негізіндегі арболиттің оңтайлы құрамын таңдау математикалық тәжірибені жоспарлау арқылы жүргізілді. Белсенді параметр ретінде арболит үлгілерінің сығу беріктігі қабылданды.



1 - сурет – Көп компонентті байланыстырғыш және күріш қауызы мен сабаны негізіндегі арболиттің блок – схемасы. X – бақыланатын және реттелетін ену параметрі: pH – сілтілі орта; ДР – дайындау режимі; τ – ылғалдандыру уақыты, мин; Н – бақыланатын реттелмейтін ену параметрі: Ra – цементтің белсендігі, МПа; D және L – араластырғыш барабанның конструктивті өлшемдері, м; S – бастапқы заттың беттік үлесі, м²/кг; Y – шығу параметрі: R – арболиттің беріктігі. МПа; (авторлардың материалы)

Эксперименттік жұмыстарды келесі параметрлер тұрақты болып қабылданды:

- Судың цементке қатынасы;
- Араластыру режимі, ұнтақтау уақытын қоса енгізу, электролит құрамы және байланыстырғыш қоспасы массасында кернеу туындату.

Регрессия деңгейін және регрессия коэффициентін анықтау үшін төмендегі формула қолданылды:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2, \quad (8)$$

Мұндағы, $b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{12}$ – регрессияны теңестіру коэффициенттері;

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \quad (9)$$

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N y_i x_{ji}}{N}, \quad (10)$$

Мұндағы, $j = 1, 2, 3$ – фактор номері

Регрессияны теңдеуі және коэффициенті төмендегідей болды:

$b_0=57,809, b_1=0,9177, b_2=0,5910, b_3=0,4750, b_4=-1,4885, b_5=-1,9407.$

Талдаудың коэффициент мәні сенімділік интервалына сәйкес құрылған, яғни жоғарыдағы (10) формула бойынша анықталады:

$$\Delta b_i = \pm t \sqrt{\frac{s_{\{y\}}^2}{N}}, \quad (11)$$

Мұндағы, t - Стьюдент критерийінің көрсеткіші, ал $s_{\{y\}}^2$ – бұл іске қосылу дисперсиясы, N – экспериментальдық тәсілдердің саны.

Коэффициент мәні сенімділік интервалының абсолютті биіктігінен үлкен болса, онда бұл мән коэффициенті болады. Біздің жағдайымызда, сенімділік интервалы $\Delta b_i = 0.698326657$ (Стьюдент критерийі бойынша $t_{\text{табл}} = 4.303$).

Алынған (11) моделінің барбарлығын тексеру Фишер критерийі бойынша анықталады:

$$F = \frac{s_{a\partial}^2}{s_{\{y\}}^2}, \quad (12)$$

Мұндағы, $s_{a\partial}^2$ — адекваттық дисперсиясы, ал $s_{\{y\}}^2$ — тәжірибені іске қосу дисперсиясы (сонымен қатар оны оңтайландырудың дисперсті параметрі деп те атайды), өз кезегінде (11) және (12) формулаларымен анықтаймыз.

$$s_{a\partial}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta y_i^2}{f}, \quad (13)$$

Мұнда алымындағы – шаршының қалдық қосындысы, ал бөлімінде – кеңістік деңгейінің саны f . Тәжірибені жоспарлау барысында кеңістік деңгейінің саны барабар дисперсиясы үшін түрлі тәжірибе жұмыстарының санына тең болады. Алынған нәтижелер регрессия коэффициентін санау кезінде қолданылады. Біздің жағдайымызда, $f = 8 - 4 = 4$.

$$s_{\{y\}}^2 = \frac{\sum \sum (y_q - y_{cp})^2}{N(n-1)}, \quad (14)$$

Мұндағы, N - тәжірибе саны, n – әр бір тәжірибені қайталап қарау саны, нәтижелері.

Адекваттықты тексеру алынған моделді F – критерийі бойынша тексерілген, 14 алынған модельге тең болуы керек. 3 деңгейлі және 2 деңгейлі кеңістік саны кезінде кесте мәндерінде бөлімінде 5% үшін деңгей мәні 3,69 тең. $F_{\text{факт}} < F_{\text{кесте}}$ болғандықтан адекватты модел зерттелетін факторлардың белсендірілген байланыстырғыш беріктігіне байланысты сипатталады.

Күлді цементті байланыстырғыш мөлшерінің арболит беріктігіне әсерін мақаланың авторлары келесі жұмыста ([Uderbayev et al., 2022](#)) зерттеді. Осы бағытты жалғастыру үшін математикалық жоспарлауда шығу параметрлері, яғни сығу кезінде беріктік және тәжірибеде айнымалы факторлар ретінде портландцемент (X_1) және күріш қауызы (X_2) құрамдары алынған ([1 кесте](#)):

1 кесте

Зерттелетін факторлардың өзгеру деңгейі

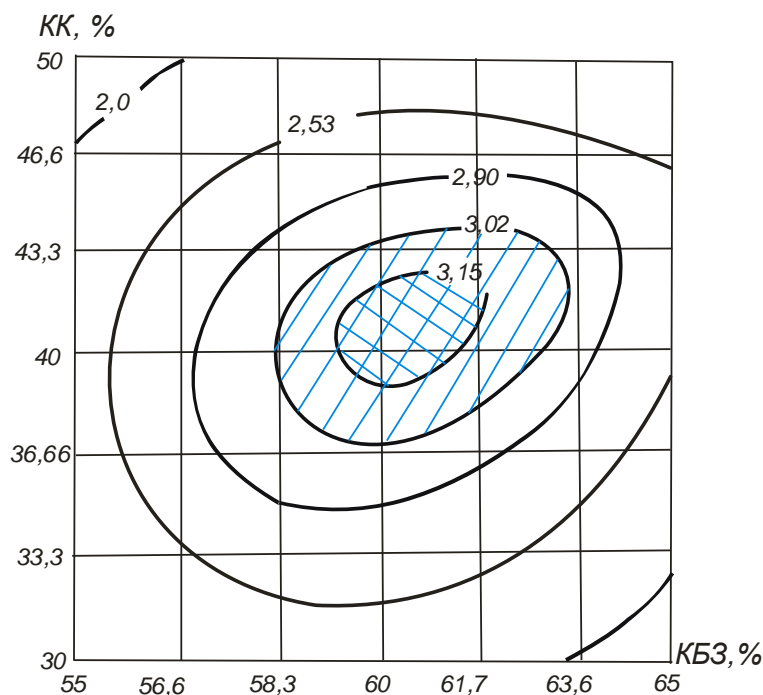
Зерттелетін факторлардың атауы	Код	Өзгеру деңгейі				
		-1,41	-1,0	0	+1,0	+1,41
Күріш қауызының мөлшері, масс. %	X1	30	32,91	40	47,09	50
Көпкомпонентті байланыстырғыш заттың мөлшері, масс. %	X2	55	56,45	60	63,55	65

2 кестеде кодирленген және натуральды ауыспалы жүргізілген тәжірибелердің жоспары және қорытындылары көрсетілген.

2 кесте

Жүргізілген тәжірибелердің жоспары және нәтижелері

№пп	Өзгеру деңгейі				Күріш қауызы, кг	Орташа тығыздығы, кг/м ³	28 тәуліктегі сығылып сынғандағы беріктігі, МПа
	Кодирленген ауыспалылық		Натуральды ауыспалылық				
	X ₁	X ₂	X ₁	X ₂			
1.	+1	+1	47,09	63,55	2,83	821	3,22
2.	-1	+1	32,91	63,55	1,97	836	3,28
3.	+1	-1	47,09	56,45	2,83	817	2,95
4.	-1	-1	32,91	56,45	1,97	825	3,15
5.	+1,41	0	50	60	3	798	2,86
6.	-1,41	0	30	60	1,8	835	3,24
7.	0	+1,41	40	65	2,4	840	3,25
8.	0	-1,41	40	55	2,4	817	3,05
9.	0	0	40	60	2,4	812	3,22
10.	0	0	40	60	2,4	812	3,21
11.	0	0	40	60	2,4	809	3,22
12.	0	0	40	60	2,4	806	3,21



2 - сурет – Арболит үлгілері беріктігінің көпкомпонентті байланыстырғыш зат пен күріш қауызының құрамына тәуелділігі. KK – күріш қауызы; KB3 – көпкомпонентті байланыстырғыш зат. (авторлардың материалы)

Алынған эксперименттік нәтижелер екінші ретті ротатабель жоспарын іске асыру екі ауыспалылық үшін математикалық моделді алуға мүмкіндік берді. Номограмманы және есептерді жүргізу арқылы келесі регрессия теңдеуі алынды:

$$R_{cbl} = 3,81 + 0,92X_1 + 0,59X_2 + 0,475X_1X_2 - 1,489X_1^2 - 1,941X_2^2 \quad (15)$$

Алынған номограмманы (2 сурет) талдасақ арболиттің оңтайлы құрамы келесіні құрады: күріш қауызы мөлшері 37-42%, ал көпкомпонентті байланыстырғыштың мөлшері 58-61 %-ды құрады.

4.2 СЫҒЫЛЫП ЖӘНЕ ИЛГЕН ҚАБЫРҒАЛЫҚ ТАҚТАЛАРДЫҢ КЕРНЕУЛІ КҮЙІН ЕСЕПТЕУ

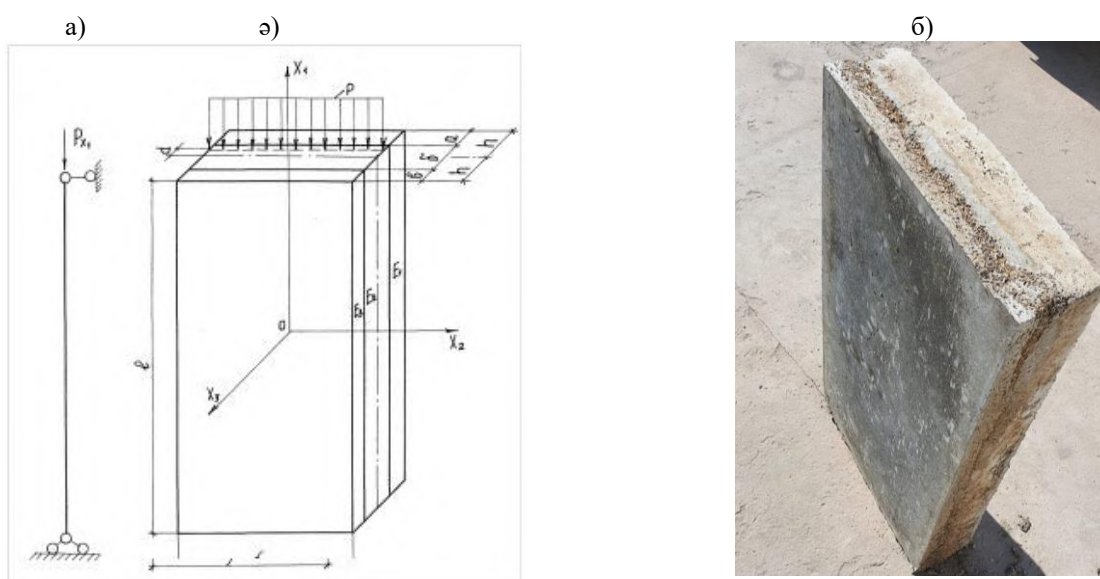
Тақтаның сығылып және иілген қабырғалық тақталардың кернеулі күйін есептеу үшін бір бетіне центрден тыс біркелкі бөлінген бойлық статикалық сызықтық жүктеме P әсерінен болатын үш қабатты тақта қарастырылды (Uderbayev et al., 2021).

Осы қабырғалық тақтаны сыналып, оның реакциясы статикалық шарттардан анықталады. Бұл жерде сызықтық жүктеме P болып табылады және сызықтық момент $M=Pd$ қабылданған.

Сыналатын тақтаның әр қабатындағы деформациялар мен кернеулер келесі 3а суретте көрсетілген. Онда берілген күштер мен моменттер арасындағы аналитикалық тәуелділіктерді анықтау сұрағы туындады. Оны анықтау үшін үшін сызықтық кернеулі жағдайы осіне декартты координаттары орта жазықтықта тақталарда белгіленді. Ал X_3 ось сызығы горизонталь осі бойынша көрсетілген. Бойлық сығу кезіндегі күріш қауызы негізіндегі үшқабатты тақтаның есептік схемасы (3 сурет) көрсетілген.

Күріш қауызы мен оның сабаны негізіндегі тақтадағы қабаттарды изотропты деп қабылданды. Олардың негізгі осьтері координаталық осьтерге сәйкес. Біркелік жүктеме түрі үшін және көлденең тангенс кернеулерді және қалыпты кернеуді нөлге тең деп санаймыз. Тақтаның кернеулі күйін сипаттайтын басқа параметрлер X_3 координатасының кейбір белгісіз функциялары болып табылады. Сондықтан оларды анықтап табу қажет.

Төменде келтірілген формулаларда келесідей шартты белгілер қабылданған. Қабырға тақтасының қалыңдығы мен бетон қабаттарының қалыңдығы. Ортада күріш қауызы мен оның сабаны негізіндегі арболиттен жасалған жылытқыш қабылданған. E_1 және E_3 - бетон қабаттарының серпімділік модульдері, МПа; E_2 - арболит қабатының серпімділік модулі, МПа.



3 - сурет – Вертикалды орналасқан күріш қауызы мен сабаны негізіндегі үшқабатты тақтаның есептік схемасы: а-жүктеме күштерінің схемасы; ә-тақтаның есептік схемасы; б) – тақтаның көрінісі (авторлардың материалы).

Тақтаның сығылып және иілген қабырғалық тақталардың кернеулі күйін есептеу үшін жұмыста келтірілген тангенциалды кернеулер, иілу моменттері, деформациялар және деформациялар арасындағы байланысты сипаттайтын теңдеулер пайдаланылды. Мұнда тангенциалды кернеулерге арналған формулалар келесі формада болады:

$$\sigma_{11} = \frac{E}{1-\nu^2} \left(e_{11} + \nu \cdot e_{22} - \nu \cdot x_3 \frac{d^2 w}{dx_2^2} - x_3 \frac{d^2 w}{dx_1^2} \right) \quad (16)$$

$$\sigma_{12} = 2 \cdot \nu e_{12} - 2 \cdot x_3 \cdot \frac{d^2 w}{dx_1 \cdot dx_2} \quad (17)$$

Есептеуде Р жүктемесі қолданылатын тақтаның бүйір өлшемі тақтаның ұзындығынан әлдеқайда төмен болса ($f \ll 1$), $e_{22} = e_{11} = 0$ деформациясы қабылданды. Тақтаның иілуі X_1 осі бойымен жүреді, осы ескертулерді ескере отырып, келесі есептеулер алынды:

$$\sigma_{11} = \frac{E}{1-\nu^2} \left(e_{11} - \nu - x_3 \cdot \frac{d^2 w}{dx_1^2} \right); \quad (18)$$

$$\sigma_{11} = \frac{\nu E}{1-\nu^2} \left(e_{11} - \nu - x_3 \cdot \frac{d^2 w}{dx_1^2} \right) = \nu \sigma_{11} \quad (19)$$

Тәуелділікті (19) X_3 координатасы бойынша $\{-h, h\}$, содан кейін (19) X_3 қабылданды. Көрсетілген шектерді қосу арқылы тангенциалды күштер мен моменттер үшін төмендегі формулалар алынды:

$$T = C \cdot e_{11} - K \cdot \frac{d^2 w}{dx_1^2}; \quad (20)$$

$$M = K \cdot e_{11} - D \cdot \frac{d^2 w}{dx_1^2}; \quad (21)$$

Мұнда:

$$C = \int_{-h}^h \frac{E(x_3) dx_3}{1-\nu^2(x_3)}; K = \int_{-h}^h \frac{x_3 E(x_3) dx_3}{1-\nu^2(x_3)}; D = \int_{-h}^h \frac{x_3^2 E(x_3) dx_3}{1-\nu^2(x_3)}; \quad (22)$$

$$T = \int_{-h}^h \sigma_{11} dx_3; M = \int_{-h}^h x_3 \sigma_{11} dx_3; \quad (23)$$

Қойылған шарт бойынша $f \ll 1$ $\sigma_{22} = 0$ қабылдаймыз. Содан кейін (16) және (17) теңдеулерден табамыз:

$$e_{22} = -\nu \cdot \left(e_{11} - x_3 \frac{d^2 w}{dx_1^2} \right); \quad (24)$$

$$\sigma_{22} = E \left(e_{11} - x_3 \frac{d^2 w}{dx_1^2} \right). \quad (25)$$

Жоғарыда келтірілген тәуелділік үшін (25) тәуелділік үшін (19) формулаға есептеулер жүргізгеннен кейін келесі формулалар алынады:

$$T = C \cdot e_{11} - K \frac{d^2 w}{dx_1^2}; \quad (26)$$

$$(27) \quad M = K \cdot e_{11} - D \frac{d^2 w}{dx_1^2};$$

$$\frac{dM}{dx_1} = 0; \frac{dT}{dx_2} = 0; \quad (28)$$

Осыдан шығады келесі:

$$T = P; \quad M = P \cdot d \quad (29)$$

(29) арақатынаста (21), (22) теңдік алынады:

$$P = C \cdot e_{11} - K \frac{d^2 w}{dx_2^2}; \quad (30)$$

$$P \cdot d = K \cdot e_{11} - D \frac{d^2 w}{dx_1^2}; \quad (31)$$

Алынған теңдеулер (31), (32) қолдану арқылы келесі теңдеу алынды:

$$e_{11} = P \frac{D-d \cdot k}{K^2 - CD}; \quad \frac{d^2 w}{dx_1^2} = P \frac{K-d \cdot C}{K^2 - CD}. \quad (32)$$

Алынған формула бойынша тақтаның қалыңдығы бойынша X_1 осі бойымен орналасқан тангенциалды кернеулердің қалай таралатыны анықталды. Алынған формулалар мен есептеулер кезінде күріш қауызы мен оның сабаны негізіндегі арболиттен орташа жылытқыш қабаты бар қабатты қабырғалық тақталардың көтергіш қабілетін есептеуге болады.

Эксперименттерді орындау барысында күріш қауызы мен оның сабаны негізіндегі арболиттен жасалған ішкі жылу оқшаулағыш қабаты бар қабырғалық тақтаның сығылу және иілу кезіндегі кернеулі деформацияланған күйін есептеу жүргізілді. Яғни, қабырға тақтасының бойлық осі бойындағы тангенциалды кернеулерді оның қалыңдығымен анықтауға және қабырғалық тақтаның ортасынан иілуін және бойлық жүктеменің әсерін есептеуге болатыны көрсетілді.

5 ҚОРЫТЫНДЫЛАР

Арболиттік бұйымдарды өндіру үшін конвейерлік тәсілмен дайындалатын престелетін арболиттің белгілі технологиясы эксперименттерде қолданылды. Сапалы арболиттік бұйымдарды алу мақсатында технологиялық параметрлер мен қалыптаудың оңтайлы шарттары анықталды.

Көпкомпонентті байланыстырғыш зат және күріш қауызы мен оның сабаны негізіндегі арболиттің сығу кезіндегі беріктігін анықтау нәтижелері: тығыздығы 800 кг/м^3 болған беріктігі $3,03 \text{ МПа}$ құрайды. Көпкомпонентті байланыстырғыш зат және күріш қауызы мен сабаны негізіндегі арболиттің су сіңіргіштігі 24% , ал жылу өткізгіштігі $\lambda=0,18-0,19 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$ -қа тең болды. Алынған көпкомпонентті байланыстырғыш зат негізіндегі арболиттің аязға төзімділігі жоғары – $30-35$ циклді құрады.

Эксперименттерді орындау кезінде математикалық жоспарлау әдістері пайдаланылып, оңтайлы құрамдағы күріш қауызы мен оның сабаны негізіндегі арболит үлгілері жасалды. Арболиттің сығу беріктігінің қосылатын шикізат компоненттерінің шығындарына және оның тығыздығына тәуелділігі анықталды. Күріш қауызы негізіндегі жылу оқшаулағыш арболиттің құрамы оңтайландырылды. Күріш қауызы мен оның сабанына негізделген В1 класты арболиттен жасалған жылу оқшаулағыш қабаты бар қабырғалық тақтаның кернеулі және деформацияланған күйін есептеу әдісі жасалды.

Арболиттік қабырғалық тақтаның бойлық осі бойымен тангенциалдық кернеулердің оның қалыңдығы бойынша таралуы анықталды. Сонымен бірге, орталықтан тыс түсетін бойлық жүктеменің әсерінен тақтаның ауытқуларын анықтау үшін формулалар алынды. Арболиттік қабырғалық тақтаны есептеудің эксперименттік ұсынылған әдісі тексеріліп, расталды. Есептелген мәліметтер бойынша арболиттік конструкцияларды сынау нәтижелері бойынша алынған қателіктерге талдау жасалды. Бұл алынған мәліметтердің көмегімен жүктемелердің таралу аумағын анықтауға болады деген тұжырым жасауға мүмкіндік береді.

ӘДЕБИЕТТЕР

1. **Marques, B., Tadeu, A., Almeida, J., & António, J.** (2019). Experimental characterisation of cement-based composites with rice husk. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 2(14), 147-153. <https://doi.org/10.2495/DNE-V14-N2-147-153>
2. **Marques, B., Almeida, J., Tadeu, A., António, J., Santos, M. I., de Brito, J., & Oliveira, M.** (2021). Rice husk cement-based composites for acoustic barriers and thermal insulating layers. *Journal of Building Engineering*, 39, 102297. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2021.102297>
3. **Romasanta, R. R., Sander, B. O., Gaihre, Y. K., Alberto, M. C., Gummert, M., Quilty, J., Nguyen, V. H., Castalone, A. G., Balingbing, C., Sandro, J., Correa, T. & Wassmann, R.** (2017). How does burning of rice straw affect CH₄ and N₂O emissions? A comparative experiment of different on-field straw management practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 239, 143–153. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.042>
4. **Bisht, N., Gope, P. C., & Rani, N.** (2020). Rice husk as a fibre in composites: A review. *Journal of the Mechanical Behavior of Materials*, 29(1), 147-162. <https://doi.org/10.1515/jmbm-2020-00159>
5. **Yu, X., & Xu, H.** (2014). Lightweight composites reinforced by agricultural byproducts. In *ACS Symposium Series* (Vol. 1175). <https://doi.org/10.1021/bk-2014-1175.ch012>
6. **Grünwald, T., Ostrowski, S., Petutschnigg, A., Musso, M., & Wieland, S.** (2012). Structural analysis of wood-leather panels by Raman spectroscopy. *BioResources*, 7(2), 1431–1439. <https://doi.org/10.15376/biores.7.2.1431-1439>
7. **Youngquist, J. A., Krzysik, A. M., English, B. W., Spelter, H. N., & Chow, P.** (1996). Agricultural fibers for use in building components. *Proceedings of the Conference on the Use of Recycled Wood and Paper in Building Applications*, 123–134.
8. **Yao, F., Wu, Q., Lei, Y., & Xu, Y.** (2008). Rice straw fiber-reinforced high-density polyethylene composite: Effect of fiber type and loading. *Industrial Crops and Products*, 28(1), 63–72. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.01.007>
9. **Chabi, E., Doko, V. K., & Adjovi, E. C.** (2024). Eco-friendly building materials: full-scale replacement of mineral aggregates with rice husk. *Discover Materials*, 4(1), 11-21. <https://doi.org/10.1007/s43939-024-00075>
10. **Chabannes, M., Bénézet, J.-C., Clerc, L., & Garcia-Diaz, E.** (2014). Use of raw rice husk as natural aggregate in a lightweight insulating concrete: An innovative application. *Construction and Building Materials*, 70, 428–438. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.025>
11. **Sisman, C. B., Gezer, E., & Kocaman, I.** (2011). Effects of organic waste (rice husk) on the concrete properties for farm buildings. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 17(1), 40-48.
12. **Kazimagomedov, I., Kazimagomedov, F., Butnik, S., Viatkin, V., & Hovorukha, I.** (2023). Study of the properties of arbolite based on hemp shives and ferroalloy industry wastes. *AIP Conference Proceedings*, 2490(1). <https://doi.org/10.1063/5.0122743>
13. **Singh, S., Maiti, S., Bisht, R. S., Balam, N. B., Solanki, R., Chourasia, A., & Panigrahi, S.** (2022). Performance behaviour of agro-waste based gypsum hollow blocks for partition walls. *Scientific Reports*, 12(1), 3204. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07057-y>
14. **Uderbayev, S. S.** (2008). Monograph: "Effective building material – arbolite based on agricultural waste" [Jeffektivnyj stroitel'nyj material arbolit na osnove sel'skohozjajstvennyh othodov]. Almaty: Gylym. (In Russ.).
15. **Zhanatuly, S., Uderbayev, S. S., Zhapakhova, A. U., & Zhakapbayeva, G. A.** (2024). Investigation of the issue of increasing the strength of arbolite based on a multicomponent binder [Kopkomponentti bajlanystyryfsh zat negizindegi arbolittiң beriktigin koteru мәsesin zertteu]. *BULLETIN of Kazakh Leading Academy of Architecture and Construction*, 1(91), 76-93. <https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.1-05> (In Kaz).
16. **Uderbayev, S. S., Zhanatuly, S., & Akbarov, S. M.** (2022). Influence of activation methods of ash-cement binder on the strength of arbolite products. [Vlijanie sposobov aktivacii zolocementnogo vjazhushhego na prochnost' arbolitovyh izdelii]. *Proceedings of the XVII*

international scientific and Practical Conference, "European science of the XXI century-2022", 3, Przemysł: Science and studies, pp. 42-46. (In Russ).

17. **Uderbayev, S. S., Sadirslam, A. A., Zhanatuly, S., & Onaibekov, B. K.** (2021). Features of the use of arbolite walls based on rice husk. XV International scientific and practical conference [Қырғиш қауызы негізіндегі арболиттен жасалған қабырғаларды пайдалану ерекшеліктері]. Global science and innovation 2021: Central Asia, Series 'Technical Sciences'. Nursultan, 4(15), 55-60. (In Kaz).

UDC 528.2

IRSTI 37.31.23

RESEARCH ARTICLE

EVALUATION OF GLOBAL GEOPOTENTIAL MODELS IN KAZAKHSTAN BASED ON GEOID HEIGHTS AND GRAVITY ANOMALIES

D.A. Shoganbekova^{1,3} , A.S. Urazaliyev^{1,2,*} , K. Kassymkanova² ,
M.S. Kozhakhmetov¹ , S. Kydyrkozhakzy^{1,3} 

¹Institute of Ionosphere, 050020, Almaty, Kazakhstan

²Kazakh National Research Technical University named after. K.I. Satpayev,
050013, Almaty, Kazakhstan

³International Educational Corporation, 050043, Almaty, Kazakhstan

Abstract. *Orthometric height is required for all surveying work in civil engineering. The most effective and less labor-intensive method for determining orthometric heights on the ground is the use of GNSS technologies. But to use GNSS technologies, it is necessary to determine the geoid height (the difference between ellipsoidal and orthometric heights). This article reviews and compares the latest high-resolution Global geopotential models (GGM) in order to select the optimal model for creating a model of the geoid of Kazakhstan. The study consists of three stages. In the first stage, the GGMs were evaluated using 112 GNSS/leveling points distributed over the test area. In the second stage, selected GGMs were evaluated based on gravity data. In the third stage, some of the best performing models were further compared using spectral information contained in their spherical harmonic coefficients. The EIGEN-6C4 model demonstrated advantages over other GGMs (XGM2019e_2159, GECO, SGG-UGM-2, EGM2008) that participated in the accuracy assessment, showing a standard deviation of 0.267 m at the first stage. When analyzed to match ground-based gravity data, the EIGEN-6C4 model demonstrated a match with a standard deviation of 5.341 mGal. Based on the evaluation results, it is decided that EIGEN-6C4 is the most suitable model for generating local geoid, which will contribute to the development of geodesy in civil engineering in the future.*

Keywords: *geoid, GGM, Bouguer anomaly, accuracy assessment, standard deviation, GNSS/Leveling, spectral analysis.*






***Corresponding author**

Asset Urazaliyev, e-mail: a.urazaliyev@ionos.kz

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-14>

Received 20 March 2024; Revised 17 April 2024; Accepted 30 May 2024

ГЕОИД БИІКТІКТЕРІ МЕН ГРАВИТАЦИЯ АНОМАЛИЯЛАРЫ НЕГІЗІНДЕ ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ҒАЛАМДЫҚ ГЕОПОТЕНЦИАЛДЫҚ МОДЕЛЬДЕРДІ БАҒАЛАУ

Д.А. Шоганбекова^{1,3} , А.С. Уразалиев^{1,2,*} , Х.К. Касымканова² ,
М.С. Кожаметов¹ , Ш. Қыдырқожақызы^{1,3} 

¹Ионосфера институты, 050020, Алматы, Қазақстан

²Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті,
050013, Алматы, Қазақстан

³Халықаралық білім беру корпорациясы, 050043, Алматы, Қазақстан

Аңдатпа. Азаматтық құрылыстағы барлық геодезиялық жұмыстарды орындау үшін ортометриялық биіктік қажет. Жердегі ортометриялық биіктіктерді анықтаудың ең тиімді және аз уақытты қажет ететін әдісі Жаһандық навигациялық спутниктік жүйесін (ЖНСЖ) қолдану болып саналады. Бірақ ЖНСЖ технологиясын қолдану үшін геоидтың биіктігін анықтау қажет (эллипсоидтық және ортометриялық биіктіктер арасындағы айырмашылық). Бұл мақалада Қазақстанның геоид моделін құру үшін оңтайлы модельді таңдау мақсатында жоғары ажыратымдылықтағы соңғы ғаламдық геопотенциалдық модельдер (FGM) қарастырылады және салыстырылады. Зерттеу үш кезеңнен тұрады. Бірінші кезеңде FGM сынақ учаскесі бойынша бөлінген 112 ЖНСЖ/Нивелирлеу нүктелері арқылы бағаланды. Екінші кезеңде гравитациялық мәліметтер негізінде таңдалған FGM бағаланды. Үшінші кезеңде кейбір тиімді модельдер сфералық гармоника коэффициенттеріндегі спектрлік ақпаратты қолдану арқылы одан әрі салыстырылды. EIGEN - 6С4 моделі дәлдікті бағалауға қатысқан басқа FGM-ге (XGM2019e_2159, Geco, SGG-UGM-2, EGM2008) қарағанда артықшылықтарды көрсетті, бірінші кезеңде стандартты ауытқуды 0.267 м-ге тең көрсетті, жердегі гравиметриялық деректерге сәйкестігін талдау бойынша EIGEN-6С4 моделі 5,341 мГал стандартты ауытқумен сәйкестігін көрсетті. Бағалау нәтижелеріне сүйене отырып, EIGEN-6С4 болашақта азаматтық құрылыстағы геодезияның дамуына үлес қосатын жергілікті геоидты құруда ең тиімді модел болып табылады.

Түйін сөздер: геоид, FGM, Буге аномалиясы, дәлдікті бағалау, орташа квадраттық ауытқу, ЖНСЖ/Нивелирлеу, спектрлік талдау.






*Автор-корреспондент

Асет Уразалиев, e-mail: a.urazaliyev@ionos.kz

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-14>

Алынды 20 наурыз 2024; Қайта қаралды 17 сәуір 2024; Қабылданды 30 мамыр 2023.

ОЦЕНКА ГЛОБАЛЬНЫХ ГЕОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ В КАЗАХСТАНЕ НА ОСНОВЕ ВЫСОТ ГЕОИДА И ГРАВИТАЦИОННЫХ АНОМАЛИЙ

Д.А. Шоганбекова^{1,3} , А.С. Уразалиев^{1,2,*} , Х.К. Касымканова² ,
М.С. Кожаметов¹ , Ш. Қыдырқожақызы^{1,3} 

¹Институт ионосферы, 050020, Алматы, Казахстан

²Казахский национальный исследовательский технический университет
им. К.И. Сатпаева, 050013, Алматы, Казахстан

³Международная образовательная корпорация, 050043, Алматы, Казахстан

Аннотация. Для выполнения всех геодезических работ в гражданском строительстве требуется ортометрическая высота. Самым эффективным и менее трудоемким методом определения ортометрических высот на местности считается применение ГНСС технологий. Но для использования ГНСС технологий необходимо определить высоту геоида (разница между эллипсоидальным и ортометрическим высотами). В данной статье рассматриваются и сравниваются последние ГГМ высокого разрешения с целью выбора оптимальной модели для создания модели геоида Казахстана. Исследование состоит из трех этапов. На первом этапе ГГМ оценивались с использованием 112 точек ГНСС/Нивелирования, распределенных по тестовому участку. На втором этапе проводилась оценка выбранных ГГМ на основе гравитационных данных. В третьем этапе некоторые из наиболее эффективных моделей дополнительно сравнивались с использованием спектральной информации, содержащейся в их коэффициентах сферических гармоник. Модель EIGEN-6C4 продемонстрировала преимущества перед другими ГГМ (XGM2019e_2159, GECO, SGG-UGM-2, EGM2008), участвовавших в оценке точности, показав на первом этапе стандартное отклонение равной 0.267м. По анализу на соответствие наземным гравиметрическим данным модель EIGEN-6C4 продемонстрировала соответствие со стандартным отклонением в 5,341мГал. Основываясь на результатах оценки решено, что EIGEN-6C4 является наиболее подходящей моделью для создания локального геоида, которая в будущем внесет вклад в развитие геодезии в гражданском строительстве.

Ключевые слова: геоид, ГГМ, аномалия Буге, оценка точности, среднеквадратичное отклонение, ГНСС/Нивелирование, спектральный анализ.

*Автор-корреспондент

Асет Уразалиев, e-mail: a.urazaliyev@ionos.kz

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-14>

Поступила 20 марта 2024 г.; Пересмотрено 17 апреля 2024 г.; Принято 24 мая 2024 г.

ACKNOWLEDGEMENTS/SOURCE OF FUNDING

The study was carried out with financial support from the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant No. BR21882366).

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest.

АЛҒЫС/ҚАРЖЫЛАНДЫРУ КӨЗІ

Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен жүзеге асырылды (грант № BR21882366).

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

БЛАГОДАРНОСТИ/ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR21882366).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

1 ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день, широко используется Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) в сферах городского планирования, гражданского строительства, кадастра, развития геодезической сети, мониторинга деформационных процессов и чрезвычайных ситуации и т.д. При производстве различных научных и практических задач, где требуется ортометрические высоты применение ГНСС становится непригодным, так как могут быть получены только эллипсоидальные высоты (высота, измеренная вдоль нормального из опорного эллипсоида). В результате ГНСС измерений получают не отметки высот, а значения декартовых трёхмерных координат в геоцентрической системе XYZ с дальнейшим приведением их к формату геодезических координат - ВЛН. На сегодняшний день в стране относительные высоты могут быть определены только методом геометрического нивелирования. Чтобы преобразовать эллипсоидальную высоту в ортометрическую, требуется модель геоида. В мировой практике ГНСС давно зарекомендовали себя как надежный инструмент для определения местоположения не имеющий аналогов в мире по масштабу, функциональности и точности позиционируя себя самым экономичным способом в нынешних условиях.

Для создания гравиметрической модели геоида широко используются интегральные уравнения Стокса, позволяющие вычислять высоты геоида на основе измерений земной гравитации в точках на поверхности Земли или над ней. Эти формулы требуют данных о гравитации, охватывающих всю поверхность Земли. Однако на практике доступны лишь гравиметрические данные, ограниченные сферической шапкой, что приводит к ошибке усечения. Для уменьшения этой ошибки необходимо объединить наземные данные с глобальной геопотенциальной моделью (ГГМ). Способность ГГМ определять высоту геоида значительно варьируется в зависимости от расположения точек и максимальной степени модели. Для достижения оптимального гравиметрического определения геоида необходимо выбрать ГГМ, которая наилучшим образом соответствует местному гравитационному полю.

Целью данного исследования является оценка эффективности новейших моделей ГГМ с высоким разрешением для будущего моделирования геоида в Казахстане. Используется строгая схема: сначала модели фильтруются с использованием волнистости геоида ГНСС и наблюдаемых гравитационных аномалий, а затем анализируется спектральная информация, содержащаяся в ГГМ, для получения оптимальной модели (моделей) для будущего моделирования геоида Казахстана ([Kumar Ghosh & Nath Mishra, 2016](#)).

2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

ГГМ представляют собой наборы коэффициентов сферических гармоник, представляющих гравитационное поле Земли. Разработанные учеными модели ГГМ публикуются Международным центром гравитационных моделей Земли (ICGEM). На сегодняшний день в базе данных ICGEM доступно 180 моделей ГГМ. Поскольку количество геопотенциальных моделей растет с каждым годом, пользователю будет сложно выбрать оптимальную модель для своего регионального моделирования без тестирования каждой модели (ICGEM).

Существуют следующие методы по оценке ГГМ:

- Сравнение с независимыми данными: спутниковая альтиметрия ([Kim, J. et al., 2011](#)), данные ГНСС/Нивелирования ([Tapley et al., 2004](#)), гравиметрические данные ([Апех, О. I. et al., 2018](#)).
- Сравнение с другими моделями - межмодельное сравнение для выявления консистентности и различий ([Bruinsma et al., 2010](#));

- Оценка сходимости коэффициентов сферических гармоник при увеличении степени и порядка (Ries et al., 2016);
- Сравнение значений геоида, рассчитанных по моделям, с независимыми измерениями уровня моря (Sideris et al., 2014);
- Комплексная оценка моделей с использованием нескольких методов (Flury & Rummel, 2009).

Самыми распространенными методами оценки ГГМ являются сравнения геодезических величин, полученных на основе ГГМ (таких как потенциал, высоты геоида, отклонение вертикальных компонентов, сила тяжести и значения аномалий) с данными, полученными на основе ГНСС/Нивелирования (Ariff et al., 2021., Pham et al., 2023., Yilmaz et al., 2016) и наземными гравиметрическими измерениями (Yilmaz & Kozlu, 2018). Это позволяет уменьшить влияние допущений и аппроксимаций, присущих методу Стокса, и повысить точность определения высоты геоида (Savchuk & Fedorchuk, 2024).

3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

3.1 РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЯ И ДОСТУПНЫЕ НАЗЕМНЫЕ ДАННЫЕ

Исследуемым объектом принят тестовый участок, расположенный в южной части Казахстана, ограниченный между $40^{\circ} 10'$ и $43^{\circ} 15'$ северной широты и 68° и $70^{\circ} 10'$ восточной долготы (Рисунок 1).

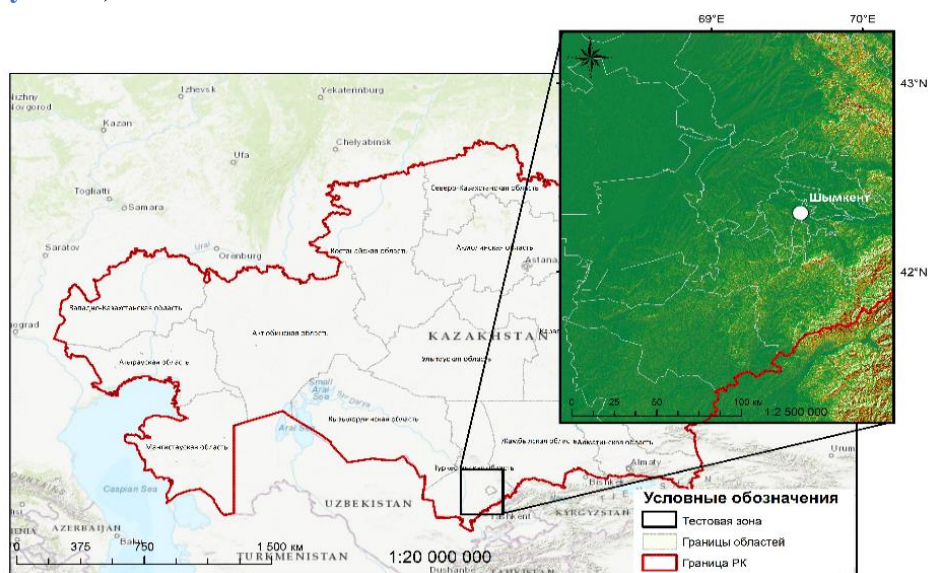


Рисунок 1 – Расположение территории исследования и тестового участка (материалы авторов)

Оценка ГГМ в данной исследовательской работе проводилась с использованием двух типов наземных данных: геодезические пункты на которых выполнялось ГНСС/Нивелирование - 112 точек, также гравиметрические данные - 44796 точек с известными значениями аномалий силы тяжести, расположение которых показана на Рисунок 2, 3.

Для проведения анализа и оценки эффективности применения ГГМ в качестве эталонных данных выбраны 112 пунктов государственной геодезической сети (ГГС) с известными значениями нормальных высот в Балтийской системе 1977г. (БСВ-77), многочасовые статистические ГНСС наблюдения. Для вычисления уравниваемых координат и высот применялась программа ТВС v5.20. По результатам уравнивания ошибки горизонтальных координат составили 0,004–0,017м, по высоте 0,003–0,034м.

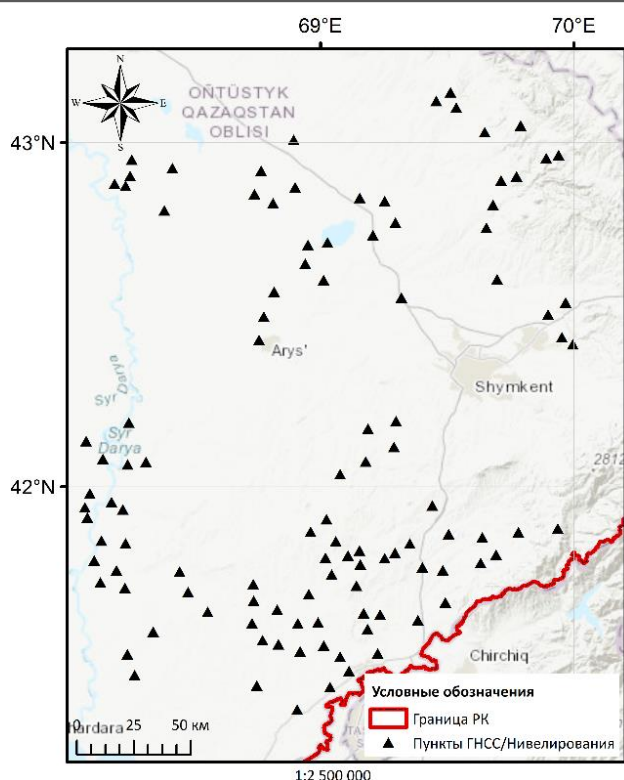


Рисунок 2 – Расположение пунктов ГНСС/Нивелирования (материалы авторов)

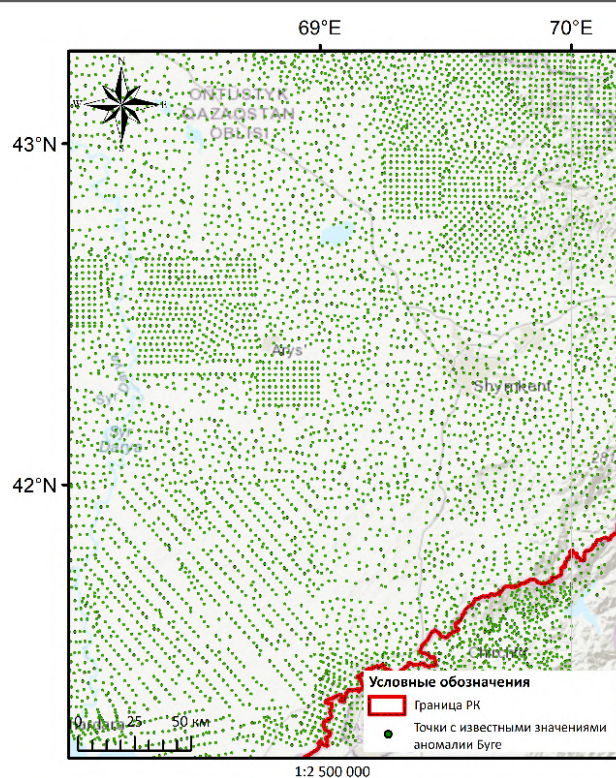


Рисунок 3 – Расположение точек с известными значениями аномалий силы тяжести (материалы авторов)

Данные о наземной гравитации, использованные в этом исследовании, были получены путем оцифровки гравиметрических карт 1:200 000 масштаба.

3.2 ОЦЕНКА ГГМ НА ОСНОВЕ ВЫСОТ ГЕОИДА

Основным способом оценки модели глобального гравитационного поля является сравнение результатов модели с независимыми внешними источниками. Например, очень часто сравнивают вычисленные моделью колебания геоида с высотами геоида, полученными с помощью ГНСС/Нивелирования (Ince et al., 2019). Этот вид оценки также применим к другим функциям гравитационного поля, таким как гравитационные аномалии или отклонения от вертикали, где вычисленные по модели значения сравниваются с наземными измерениями. Преимущество данного метода заключается в том, что он подходит для оценки результатов моделирования на региональном уровне или на конкретной территории, но эффективность оценки зависит только от качества внешних наборов данных, используемых при сравнении. ICGEM собрал несколько серий данных ГНСС/Нивелирования из разных стран (Таблица 1).

Таблица 1

Информация о контрольных точках ГНСС/Нивелирования, собранных ICGEM в течение нескольких лет, и соответствующих авторах/институтах (ICGEM).

№	Страна	Количество пунктов	Корреспондирующий Автор / Год обновления	Организация
1.	Австралия	7224	W. E. Featherstone, N. J. Brown, J. C. McCubbine & M. S. Filmer / 2018	Geoscience Australia
2.	Бразилия	1154	Roberto Teixeira Luz and Sonia Costa / 2019	Brazilian Geography and Statistics Institute (IBGE), updated

3.	Канада	2706	M. Veronneau, February / 2019	Canadian Geodetic Survey, Natural Resources Canada
4.	Европа	1047	Ilde et al., /2002	
5.	Япония	816	Tokuro Kodama,	Geospatial Information Authority of Japan
6.	США	6169	Milbert, /1998	
7.	Мексика	4898	2019	National Institute of Statistics and Geography (INEGI)

Как правило, данные ГНСС/Нивелирования собираются на протяжении десятилетий. Помимо различий в эпохах измерений, используется различное оборудование ГНСС и разная продолжительность наблюдений, а также соблюдаются процедуры наблюдений, которые приводят к изменению точности оценки эллипсоидальных высот (h).

Таблица 2

Средние квадратические значения высот геоида полученных путем ГНСС -нивелирование минус ГТМ (ICGEM).

№	ГТМ	Nmax	Территория исследования и количество пунктов оценки, (единицы измерения указаны в метрах)							
			Австра- лия 7224	Брази- лия 1154	Канада 2706	Европа1 047	Япония 816	Мек- сика 4898	США 6169	Итого 24014
176	XGM2019e_21 59	2,19	0.097	0.208	0.139	0.127	0.09	0.173	0.248	0.1732
152	GECO	2,19	0.095	0.233	0.142	0.123	0.08	0.186	0.246	0.1763
167	SGG-UGM-1	2,159	0.092	0.241	0.141	0.121	0.076	0.189	0.245	0.1764
177	SGG-UGM-2	2,19	0.091	0.234	0.139	0.121	0.074	0.19	0.249	0.1775
148	EIGEN-6C4	2,19	0.091	0.234	0.137	0.121	0.079	0.197	0.247	0.178
139	EIGEN-6C3stat	1,949	0.095	0.237	0.14	0.121	0.078	0.197	0.247	0.1791
131	EIGEN-6C2	1,949	0.098	0.243	0.14	0.123	0.08	0.196	0.249	0.1805
125	EIGEN-6C	1,42	0.106	0.242	0.146	0.128	0.082	0.195	0.247	0.1816
161	XGM2016	719	0.104	0.213	0.16	0.14	0.125	0.178	0.263	0.184
176	XGM2019	760	0.103	0.213	0.159	0.14	0.125	0.178	0.264	0.1843
104	EGM2008	2,19	0.095	0.302	0.14	0.125	0.083	0.212	0.248	0.1877
154	GOCO05c	720	0.105	0.219	0.163	0.138	0.217	0.221	0.262	0.1968
153	GGM05C	360	0.175	0.276	0.219	0.225	0.282	0.253	0.321	0.2505
126	GIF48	360	0.177	0.293	0.214	0.229	0.275	0.27	0.319	0.2541
114	EIGEN-51C	359	0.186	0.308	0.24	0.248	0.312	0.323	0.335	0.2783
105	EIGEN-5C	360	0.203	0.389	0.287	0.266	0.339	0.403	0.341	0.3145
109	GGM03C	360	0.259	0.359	0.347	0.301	0.316	0.366	0.347	0.3249

Высота геоида, полученная с помощью ГНСС/Нивелирования, может быть вычислена по формуле (Hofmann-Wellenhof & Moritz, 2006):

$$N = h - H \quad (1)$$

В данной формуле ошибки не учитываются, следовательно, результаты сравнений будут зависеть от точности исходных данных. Кроме того, для проведения объективного сравнения необходимо учитывать ошибку пропуска, вызванную усечением глобальных решений (Shoganbekova et. al., 2015). Высота геоида, полученная с помощью ГНСС/Нивелирования, также должна быть сведена к тому же спектральному содержанию, что и у гравиметрических геоидов, что также не учитывается в данной оценке ICGEM, поскольку целью данного сервиса является относительное сравнение моделей по одному и тому же набору данных ГНСС/Нивелирования. Результаты сравнения приводятся в разделе оценки

сервиса на сайте ICGEM, а результаты для моделей с наименьшими погрешностями показаны в **Таблице 2**.

Глобальные оценки моделей гравитационного поля Земли не всегда точно отражают характеристики отдельных регионов, следовательно, возникает необходимость в проведении локальной оценки. В Таблице 2 выделены модели, отобранные для локальной оценки. При выборе учитывались не только их точность, но и другие аспекты.

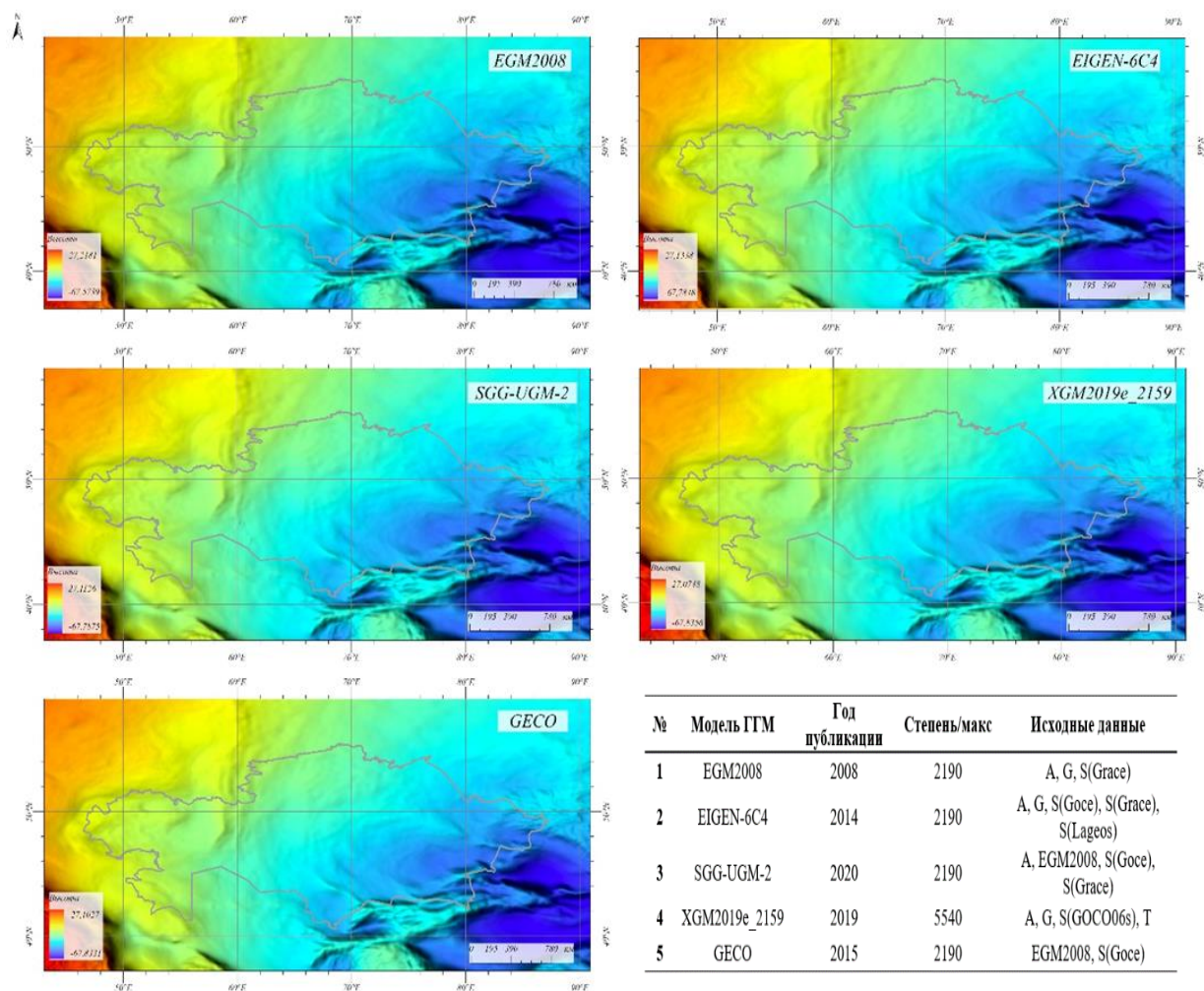


Рисунок 4 – Карта аномалий высот ГТМ и основные характеристики моделей (материалы авторов)

Например, выбор модели EGM2008 обоснован её актуальностью для Республики Казахстан. Среди моделей SGG-UGM-1 и SGG-UGM-2 была выбрана SGG-UGM-2 с учетом таких факторов, как новизна, исходные данные и значение N_{max} . По аналогичным критериям была отобрана модель EIGEN-6C4. Несмотря на публикацию нескольких новых ГТМ в 2023 году, модель XGM2019e_2159, выпущенная в 2019 году, остается наиболее точной (**Рисунок 4**) (Featherstone et al., 1998; Förste et al., 2014; Pavlis et al., 2012; Zingerle et al., 2019; Gilardoni et al., 2016; Liang et al., 2020).

Для определения наиболее подходящей модели геопотенциала для исследуемой области были проведены расчеты расхождений между высотами геоида $N_{ГНСС/Нивелирование}$ и $N_{ГТМ}$, полученными с использованием различных номинированных моделей.

В рамках статистической обработки данных была применена аддитивная модель ошибок для анализа разностей высот. Основными показателями точности модели стали: стандартное отклонение (STD), среднеквадратическая ошибка (RMSE). Статистика анализа приведена на **Рисунке 5**.

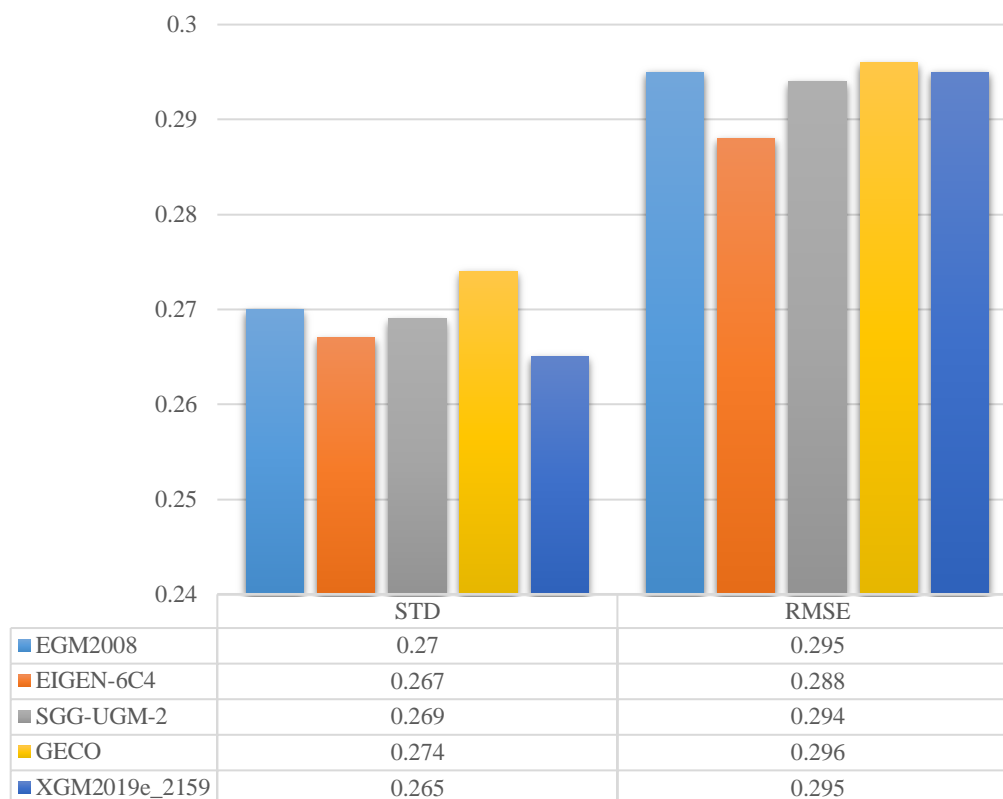


Рисунок 5 – Статистика расхождения между $N_{ГГМ}$ и $N_{\frac{ГНСС}{\text{Нивелирование}}}$ в метрах (материалы авторов)

Стандартное отклонение между ГНСС/Нивелированием и аномалиям высот EIGEN-6C4, XGM2019e_2159 составило 0.267м и 0.265м соответственно. Для остальных моделей стандартное отклонение выглядит следующим образом: SGG-UGM-2N – 0.269м, EGM2008 – 0.270м, GECO – 0.274м.

3.3 ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ГГМ НА ОСНОВЕ ЗНАЧЕНИЙ АНОМАЛИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

В ГГМ гравитационная аномалия Буге Δg_B рассчитывается посредством сферической аппроксимации классической гравитационной аномалии минус $2\pi G\rho H$.

$$\Delta g_B(\lambda, \varphi) = \Delta g_{cl}(\lambda, \varphi) - 2\pi G\rho H(\lambda, \varphi) \quad (2)$$

где, Δg_{cl} - Классическая гравитационная аномалия; G - Гравитационная постоянная; λ, φ - эллипсоидальная долгота и широта.

Топографические высоты $H(\lambda, \varphi)$ рассчитываются на основе модели сферической гармоник DTM2006, используемой в той же максимальной степени, что и модель гравитационного поля (Barthelmes, 2013).

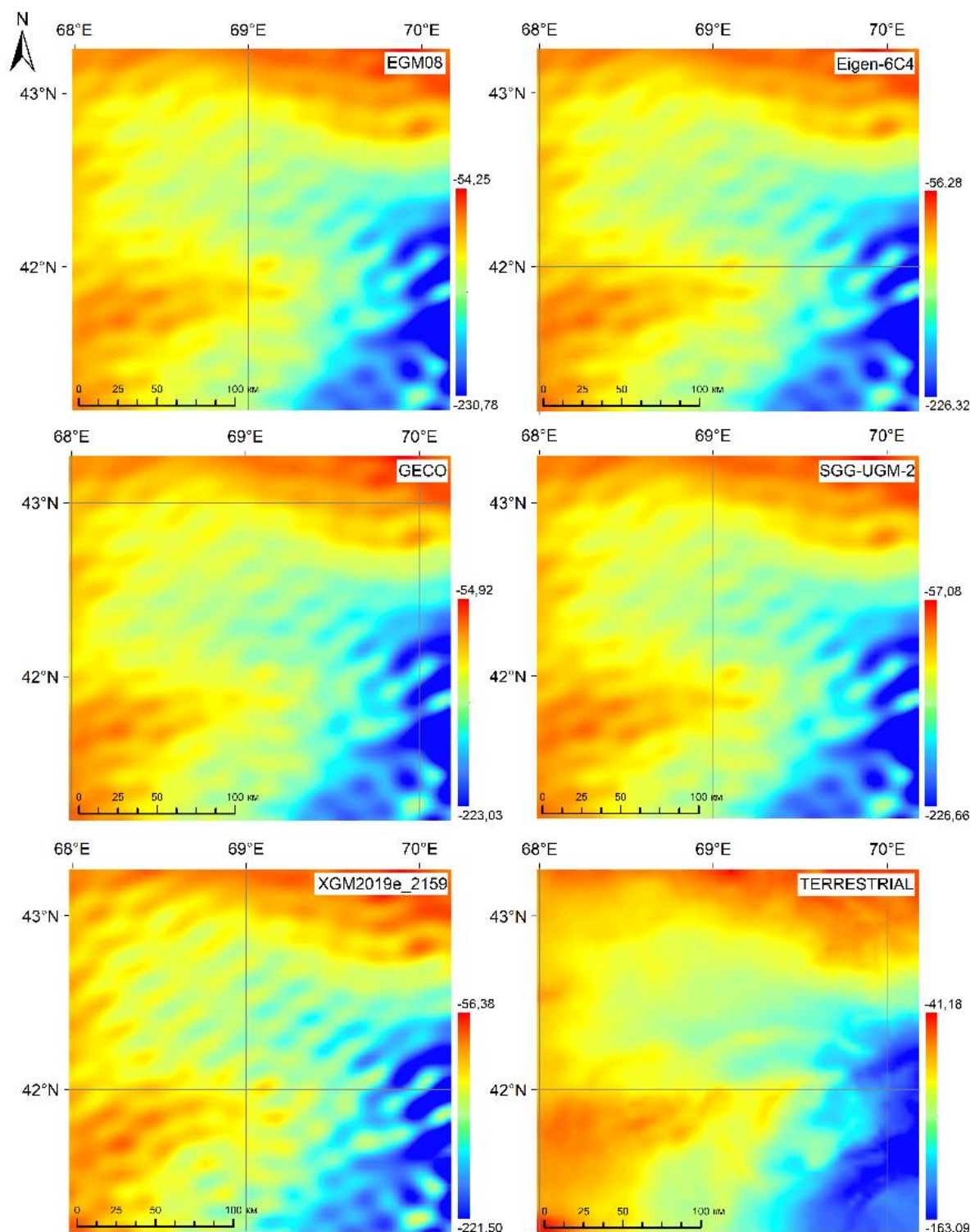


Рисунок 6 – Поле разностей наземной гравиметрической информации и данными глобальных моделей геопотенциала в мГал (материалы авторов)

Для расчета гравитационных аномалий Буге на 44796 контрольных точках был использован сервис вычислений ICGEM. Все расчеты проводились на эллипсоиде WGS-84 и в системе среднего прилива. ГГМ были усечены до максимальной степени расширения, без выполнения фильтрации. Для расчетов требуется введение геодезических координат (широты, долготы и эллипсоидальной высоты) контрольных точек. Эллипсоидальная высота преобразуется в ортометрическую высоту с использованием модели топографии в уравнении (2) и усечена при максимальной степени расширения геопотенциальной модели (Barthelmes, 2013).

$$H(\lambda, \varphi) = R \sum_{l=0}^{l_{max}} \sum_{m=0}^l P_{lm}(\sin\varphi) (C_{lm}^{topo} \cos m\lambda + S_{lm}^{topo} \sin m\lambda) \quad (3)$$

где, $H(\lambda, \varphi)$ – топографические высоты, R – базовый радиус, C_{lm}^{topo} и S_{lm}^{topo} – коэффициенты расширения.

Значения среднеквадратической разности показывают уровень точности аномалий Буге, полученных с помощью ГГМ, по отношению к наземным аномалиям Буге (**Рисунок 7**).

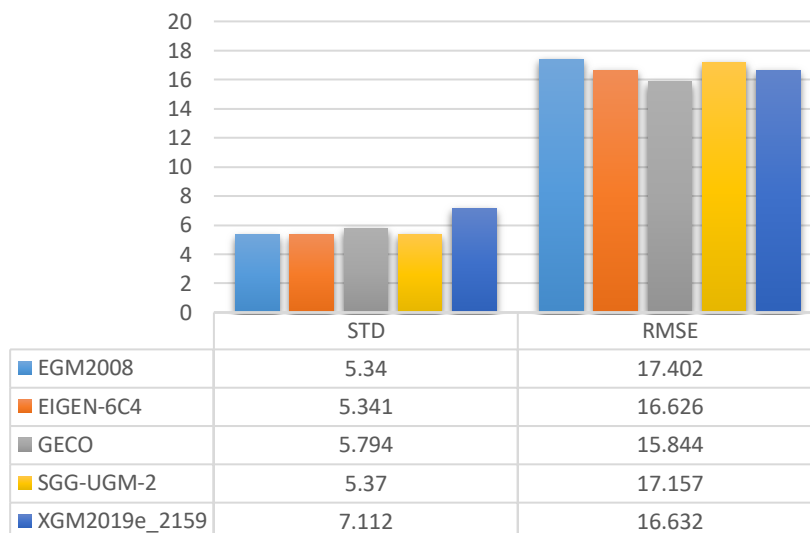


Рисунок 7 – Статистика расхождения между $\Delta g_{B(GGM)}$ и $\Delta g_{B(terrestrial)}$ в мГал (материалы авторов)

3.3 СПЕКТРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ГГМ

Одним из наиболее часто используемых методов оценки глобальных моделей гравитационного поля является суммарное рассмотрение амплитуд сигнала и шума. Сигнал может быть вычислен с помощью сферических коэффициентов 10 гармоник, в то время как шум может быть вычислен с помощью соответствующих ошибок. В процедуре оценки ICGEM были использованы амплитуды сигнала на градус, функции возмущающего потенциала на поверхности Земли, но не амплитуды ошибок на градус, поскольку не все модели включают один и тот же тип ошибок (**Ince et al., 2019**). Некоторые модели включают формальные ошибки, в то время как другие - калиброванные. Степенные амплитуды сигналов в моделях могут быть вычислены следующим образом:

$$\sigma_i = \sqrt{\sum_{m=0}^1 (\bar{C}_{1m}^2 + \bar{S}_{1m}^2)} \quad (4)$$

Результаты относятся к внутренней точности глобальной модели (высота геоида, гравитационная аномалия и другие функционалы). Дисперсия степени ошибки также может быть вычислена с помощью коэффициентов ошибки, связанных со сферическими гармониками, по той же формуле (уравнение 2). Результаты этого анализа не обязательно отражают характеристики модели или соотношение сигнал/шум для конкретной области или региона, но представляют характеристики модели в глобальном масштабе. В сравнении ICGEM были использованы амплитуды сигналов высот геоида в градусах, которые могут быть рассчитаны через:

$$\sigma_i(N) = R\sigma_i \quad (5)$$

Пример сравнения пяти последних статических моделей глобального гравитационного поля - моделей XGM2019e_2159, GECO, SGG-UGM-2, EGM2008 и EIGEN-6C4. - приведен на **Рисунке 8**. На каждом из следующих рисунков показаны амплитуды сигнала на градус модели и EIGEN-6C4, амплитуды разницы с сигналом EIGEN-6C4 на градус и как функция максимального градуса. Разности степени 2 не учитываются.

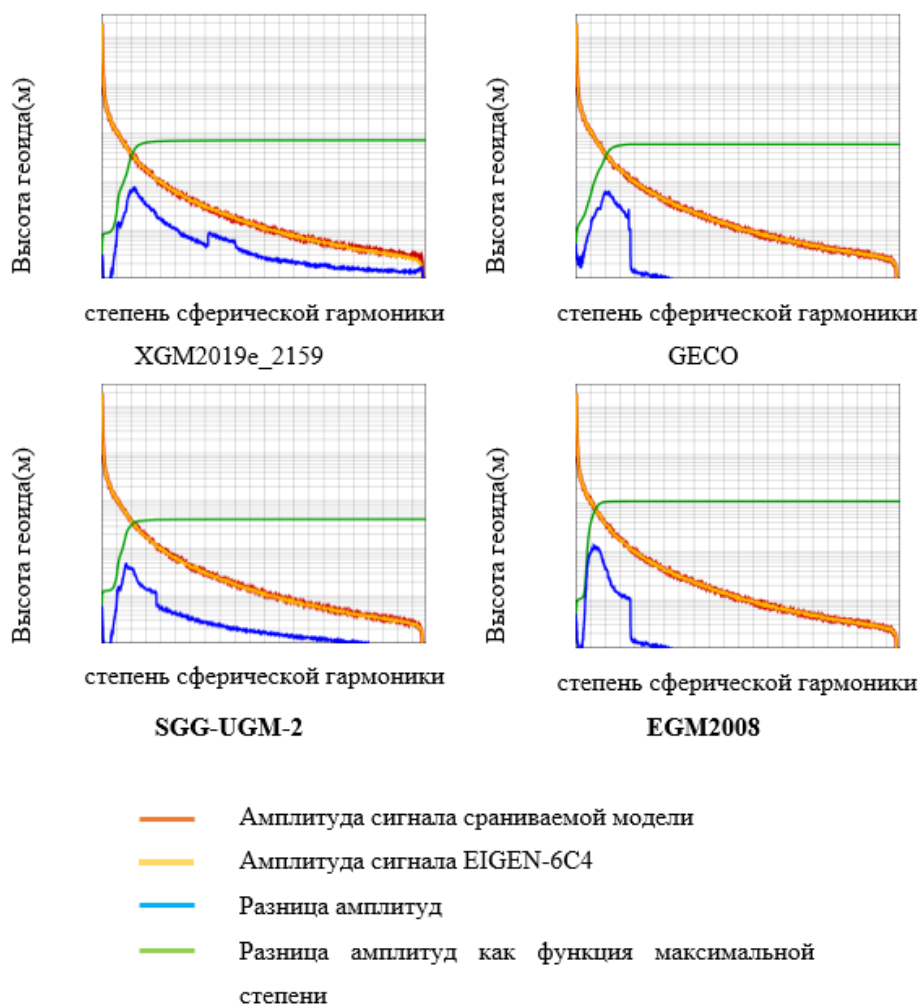


Рисунок 8 – Спектральное сравнение моделей ГГМ с моделью EIGEN-6C4 (ICGEM)

На **Рисунке 8** представлено спектральное сравнение пяти статических моделей глобального гравитационного поля. Синяя кривая представляет разницу в амплитуде статических моделей гравитационного поля на градус, а зеленая линия - суммарную разницу 5 амплитуд в зависимости от максимального градуса между моделями XGM2019e_2159, GECO, SGG-UGM-2, EGM2008 и EIGEN-6C4 в зависимости от максимального градуса.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследования статистически оценивалась разность между высотами геоида вычисленными по данным ГГМ и высотами ГНСС/Нивелирования.

Оценка показала:

- минимальные значения стандартного отклонение (STD) для моделей EIGEN-6C4, XGM2019e_2159, что составило 0.267м и 0.265м соответственно;
- минимальные значения среднеквадратическая ошибка (RMSE) для моделей EIGEN-6C4 – 0.288 м, SGG-UGM-2 – 0,294м.

На втором этапе оценивалась точность гравитационных аномалий Буге, рассчитанных в общей сложности по 5 ГГМ с использованием наземных аномалий Буге в 44796 контрольных точках. По результатам выявлено:

- минимальные значения стандартного отклонения (STD) для моделей EGM2008 – 5.34 мГал, EIGEN-6C4 – 5,341 мГал;

- минимальные значения среднеквадратической ошибки (RMSE) для моделей П GECO – 15,844 мГал, EIGEN-6C4 – 16,626 мГал.

В третьем этапе некоторые из наиболее эффективных моделей дополнительно сравниваются с использованием спектральной информации, содержащейся в их коэффициентах сферических гармоник.

5 ВЫВОДЫ

Было изучено современное состояние моделей гравитационного поля Земли. В целях моделирования геоида было необходимо подобрать ГГМ, которые наилучшим образом будут описывать длинноволновой компонент для локального геоида. В этой работе были проанализированы ГГМ: XGM2019e_2159, GECO, SGG-UGM-2, EIGEN-6C4, EGM2008. Выбор моделей основан на нескольких критериях: максимальная степень и порядок, разнообразие источников данных и новизна.

Оценка проводилась в три этапа. На первом этапе ГГМ оценивались с использованием 112 точек ГНСС/Нивелирования. На втором этапе была проведена оценка выбранных ГГМ на основе вычисленной производной – аномалий Буге. На третьем этапе некоторые из наиболее эффективных моделей дополнительно сравнивались с использованием спектральной информации, содержащейся в их коэффициентах сферических гармоник.

Модель EIGEN-6C4 продемонстрировала преимущества перед другими ГГМ (XGM2019e_2159, GECO, SGG-UGM-2, EGM2008), тем самым показывая высокую эффективность.

Для решения задач по определению ортометрических высот на местности с применением ГНСС технологии существенно удешевит и заменит проведение трудоемких нивелирных работ. Основываясь на результатах оценки решено, что EIGEN-6C4 является наиболее подходящей моделью для создания локального геоида, которая в будущем внесет вклад в развитие геодезии в гражданском строительстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Apeh, O. I., Moka, E. C., & Uzodinma, V. N.** (2018). Evaluation of gravity data derived from global gravity field models using terrestrial gravity data in Enugu State, Nigeria. *Journal of Geodetic Science*, 8(1), 145-153. <http://doi.org/10.1515/jogs-2018-0015>
2. **Ariff, N. S. E., Olesen, A. K., Yaacob, N. M., & Sulaiman, S. A. H.** (2021). Evaluation of gravity anomaly and geoid height derived from various global geopotential model. In 2021 IEEE 12th Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC) (pp. 34-39). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICSGRC53186.2021.9515205>
3. **Barthelmes, F.** (2013). Definition of functionals of the geopotential and their calculation from spherical harmonic models. (Scientific Technical Report STR, 09/02). iass-potsdam.de/pubman/item/escidoc, 104132(3), 0902-2. <https://doi.org/10.2312/GFZ.b103-09026>
4. **Bruinsma, S., Lemoine, J. M., Biancale, R., & Valès, N.** (2010). CNES/GRGS 10-day gravity field models (release 2) and their evaluation. *Advances in Space Research*, 45(4), 587-601. <http://doi.org/10.1016/j.asr.2009.10.012>

5. Featherstone, W. E., Dentith, M. C., & Kirby, J. F. (1998). Strategies for the accurate determination of orthometric heights from GPS. *Survey review*, 34(267), 278-296. <https://doi.org/10.1179/sre.1998.34.267.278>
6. Flury, J., & Rummel, R. (2009). On the geoid–quasigeoid separation in mountain areas. *Journal of geodesy*, 83, 829-847. <http://doi.org/10.1007/s00190-009-0302-9>
7. Förste, C., Bruinsma, S. L., Abrikosov, O., Lemoine, J. M., Marty, J. C., Flechtner, F., Balmino, G., Barthelmes, F., Biancale, R. (2014). EIGEN-6C4 The latest combined global gravity field model including GOCE data up to degree and order 2190 of GFZ Potsdam and GRGS Toulouse. *GFZ Data Services*, 10(10.5880). <https://doi.org/10.5880/icgem.2015.1>
8. Gilardoni, M., Reguzzoni, M., & Sampietro, D. (2016). GECO: a global gravity model by locally combining GOCE data and EGM2008. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 60, 228-247. <https://doi.org/10.1007/s11200-015-1114-4>
9. Hofmann-Wellenhof, B., & Moritz, H. (2006). *Physical geodesy*. Springer Science & Business Media.
10. Ince, E. S., Barthelmes, F., Reißland, S., Elger, K., Förste, C., Flechtner, F., & Schuh, H. (2019). ICGEM–15 years of successful collection and distribution of global gravitational models, associated services, and future plans. *Earth system science data*, 11(2), 647-674. <https://doi.org/10.5194/essd-11-647-2019>
11. International Centre for Global Earth Models (ICGEM) [Electronic source] (2024). URL: <http://icgem.gfz-potsdam.de/home>
12. Kim, J. W., von Frese, R. R., Lee, B. Y., Roman, D. R., & Doh, S. J. (2011). Altimetry-derived gravity predictions of bathymetry by the gravity-geologic method. *Pure and Applied Geophysics*, 168, 815-826. <http://doi.org/10.1007/s00024-010-0170-5>
13. Kumar Ghosh, J., & Nath Mishra, U. (2016). Determination of geoid undulation by astro-geodetic method. *Journal of surveying engineering*, 142(3), 05015007. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SU.1943-5428.0000152](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000152)
14. Liang, W., Li, J., Xu, X., Zhang, S., & Zhao, Y. (2020). A high-resolution Earth's gravity field model SGG-UGM-2 from GOCE, GRACE, satellite altimetry, and EGM2008. *Engineering*, 6(8), 860-878. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.05.008>
15. Pavlis, N. K., Holmes, S. A., Kenyon, S. C., & Factor, J. K. (2012). The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). *Journal of geophysical research: solid earth*, 117(B4). <https://doi.org/10.1029/2011JB008916>
16. Pham, H. T., Claessens, S., Kuhn, M., & Awange, J. (2023). Performance evaluation of high/ultra-high-degree global geopotential models over Vietnam using GNSS/leveling data. *Geodesy and Geodynamics*, 14(5), 500-512. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2023.03.002>
17. RIES, J., BETTADPUR, S., EANES, R., KANG, Z., KO, U. D., MCCULLOUGH, C., NAGEL, P., PIE, N., POOLE, S., & TAPLEY, B. (2016). The development and evaluation of the global gravity model GGM05. <http://doi.org/10.26153/tsw/1461>
18. Savchuk, S., & Fedorchuk, A. (2024). Methodology for local correction of the heights of global geoid models to improve the accuracy of GNSS leveling. *Geodesy and Geodynamics*, 15(1), 42-49. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2023.02.005>
19. Shoganbekova D., Fan H., Pentayev T. (2015). Gravimetric geoid model over Kazakhstan. *Proceedings of the 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management (SGEM)*, 2(2), pp. 283-290. <https://doi.org/10.5593/SGEM2015/B22/S9.035>

19. **Sideris, M., Willi, F., Zuhair, N. M., & Thomas, S.** (2014). Geodetic world height system unification. Handbook of geomathematics, 1-16. http://doi.org/10.1007/978-3-642-27793-1_83-1
20. **Tapley, B. D., Bettadpur, S., Ries, J. C., Thompson, P. F., & Watkins, M. M.** (2004). GRACE measurements of mass variability in the Earth system. Science, 305(5683), 503-505. <https://doi.org/10.1126/science.1099192>
21. **Yilmaz, M., & Kozlu, B.** (2018). The comparison of gravity anomalies based on recent high-degree global models. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(3), 981-990. <http://doi.org/10.5578/fmbd.67502>
22. **Yilmaz, M., Turgut, B., Gullu, M., & Yilmaz, I.** (2016). Evaluation of recent global geopotential models by GNSS/Levelling data: internal Aegean region. International Journal of Engineering and Geosciences, 1(1), 18-23. <http://doi.org/10.26833/ijeg.285221>
23. **Zingerle, P., Brockmann, J. M., Pail, R., Gruber, T., & Willberg, M.** (2019). The polar extended gravity field model TIM_R6e. <https://doi.org/10.5880/ICGEM.2019.005>

THE TITLE OF THE ARTICLE SHOULD BE SHORT AND INFORMATIVE (NO MORE THAN 10 WORDS)

A.A. Kornilova¹ , S.E. Mamedov^{2*} 

(Authors should include their ORCID ID hyperlink into the green logo next to their name. Follow the instructions: select the logo that you want to display as a hyperlink click on the right mouse button, select "Hyperlink", insert the link in the appeared window)

¹International Educational Corporation, 050028, Almaty, Kazakhstan

²Azerbaijan University of Architecture and Construction, 1148, Baku, Azerbaijan

Abstract. *The abstract (in the language of the article) should briefly outline the main idea and content of the article and comply with the IMRAD structure. The IMRAD structure is the typical organization of a scientific article in scientific journals. Introduction: In this section, the authors present the context and motivation of their study, justify its relevance, formulate the purpose of the study, and provide a review of the literature related to the research topic. The introduction should introduce the reader to the context of the work and interest him. Methodology: This describes the methodology used in the study. This includes a description of data collection methods, equipment, materials, procedures, and statistical methods for data analysis. It is important that the methodology be described in detail and accurately so that other researchers can replicate the study. Results: The actual results of the study are presented here. This may be numerical data, graphs, tables or other forms of information presentation. Results must be presented objectively, without interpretation or discussion. Discussion: In this section, the authors analyze the results obtained, their significance and connection with the hypotheses and purpose of the study. They can also discuss the limitations of the study and possible practical applications of the results. Conclusion: The conclusion provides a brief summary of the work and summarizes the results of the study. Here the authors can highlight the importance of their findings and possible directions for future research. The recommended abstract length is within the range of 200-250 words in English. Other languages must correspond to the translation from English.*

Keywords: *acceptable number: 5-7 keywords and phrases (no more than two words).*

***Corresponding author**

Sayan Mamedov, e-mail: mamedovs@mail.ru

DOI of the article (<https://doi.org/>)

Received 09 April 2023; Revised 17 June 2023; Accepted 24 September 2023

(IMPORTANT: Keep the formatting of the title page, including the colors and font sizes. The title page of the article should not exceed 1 of A4 layout page. If necessary, shorten or extend the abstract text within the range of 200-250 words in English)

МАҚАЛА ТАҚЫРЫБЫ ҚЫСҚА ЖӘНЕ АҚПАРАТТЫ БОЛУ КЕРЕК (10 СӨЗДЕН КӨП БОЛМАЙДЫ)

А.А. Корнилова¹ , С.Е. Мамедов^{2*} 

¹ Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, 050028, Қазақстан
² Әзірбайжан сәулет және құрылыс университеті, Баку, 1148, Әзірбайжан

Аңдатпа. Аннотация (мақала тілінде) мақаланың негізгі идеясы мен мазмұнын қысқаша сипаттап, IMRAD құрылымына сәйкес келуі керек. IMRAD құрылымы медициналық және ғылыми журналдардағы ғылыми мақаланың типтік ұйымы болып табылады. Кіріспе: Бұл бөлімде авторлар өз зерттеуінің мәнмәтінін және мотивациясын ұсынады, оның өзектілігін негіздейді, зерттеу мақсатын тұжырымдайды және зерттеу тақырыбына қатысты әдебиеттерге шолу жасайды. Кіріспе оқырманды шығарманың мәнмәтінімен таныстырып, оны қызықтыруы керек. Әдістеме: Бұл зерттеуде қолданылатын әдістемені сипаттайды. Бұл деректерді жинау әдістерінің, жабдықтың, материалдардың, процедуралардың және деректерді талдаудың статистикалық әдістерінің сипаттамасын қамтиды. Басқа зерттеушілер зерттеуді қайталай алатындай әдістемені егжей-тегжейлі және дәл сипаттау маңызды. Нәтижелер: Зерттеудің нақты нәтижелері осында берілген. Бұл сандық деректер, графиктер, кестелер немесе ақпаратты ұсынудың басқа нысандары болуы мүмкін. Нәтижелер түсіндірусіз немесе талқылаусыз объективті түрде ұсынылуы керек. Талқылау: Бұл бөлімде авторлар алынған нәтижелерді, олардың маңыздылығын және гипотезамен және зерттеу мақсатымен байланысын талдайды. Олар сондай-ақ зерттеудің шектеулерін және нәтижелердің мүмкін практикалық қолданылуын талқылай алады. Қорытынды: Қорытынды жұмыстың қысқаша мазмұнын береді және зерттеу нәтижелерін қорытындылайды. Мұнда авторлар өз тұжырымдарының маңыздылығын және болашақ зерттеулер үшін ықтимал бағыттарды көрсете алады. Ұсынылатын реферат ағылшын тіліндегі 200-250 сөз ауқымында. Басқа тілдер ағылшын тілінен аудармаға сәйкес болуы керек.

Түйін сөздер: Рұқсат етілген саны: 5-7 түйінді сөздер мен сөз тіркестері (екі сөзден артық емес).

*Автор-корреспондент
Саян Мамедов, e-mail: mamedovs@mail.ru

Мақалаңыз DOI (<https://doi.org/0000000000000>)

Алынды 09 сәуір 2023; Қайта қаралды 17 маусым 2023; Қабылданды 24 қыркүйек 2023.

НАЗВАНИЕ СТАТЬИ ДОЛЖНО БЫТЬ КРАТКИМ И ИНФОРМАТИВНЫМ (НЕ БОЛЕЕ 10 СЛОВ)

А.А. Корнилова¹ , С.Е. Мамедов^{2*} 

¹ Международная образовательная корпорация, Алматы, 050028, Казахстан

² Азербайджанский Университет Архитектуры и Строительства, Баку, 1148, Азербайджан

Аннотация. *Абстракт (на языке статьи) должен кратко изложить основной замысел и содержание статьи и соответствовать структуре IMRAD. Структура IMRAD – это типичная организация научной статьи в медицинских и научных журналах. Введение: В этом разделе авторы представляют контекст и мотивацию своего исследования, обосновывают его актуальность, формулируют цель исследования, а также предоставляют обзор литературы, связанной с темой исследования. Введение должно ввести читателя в контекст работы и заинтересовать его. Методология: Здесь описывается методология, используемая в исследовании. Это включает в себя описание методов сбора данных, оборудование, материалы, процедуры и статистические методы анализа данных. Важно, чтобы методология была описана подробно и точно, чтобы другие исследователи могли воспроизвести исследование. Результаты: Здесь представляются фактические результаты исследования. Это могут быть числовые данные, графики, таблицы или другие формы представления информации. Результаты должны быть представлены объективно, без интерпретации или обсуждения. Обсуждение: В этом разделе авторы анализируют полученные результаты, их значимость и связь с гипотезами и целью исследования. Они также могут обсудить ограничения исследования и возможные практические применения результатов. Заключение: Заключение содержит краткое резюме работы и подводит итоги исследования. Здесь авторы могут подчеркнуть важность своих результатов и возможные направления будущих исследований. Рекомендуемый объем аннотации укладывается в диапазон из 200-250 слов на английском языке. Остальные языки должны соответствовать переводу с английского языка.*

Ключевые слова: *Допустимое количество 5-7 ключевых слов и словосочетаний (не более двух слов).*

*Автор-корреспондент
Саян Мамедов, e-mail: namedovs@mail.ru

DOI статьи (<https://doi.org/0000000000000>)

Поступила 9 апреля 2023 г.; Пересмотрено 17 июня 2023 г.; Принято 24 сентября 2023 г.

ACKNOWLEDGEMENTS/SOURCE OF FUNDING *(if available)*

Example:

The research was carried out within the grant funding of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan IRN 000000001 "Name of the scientific project".

Otherwise, the authors should indicate that "the study was conducted using private sources of funding."

CONFLICT OF INTEREST

The authors state that there is no conflict of interest.

АЛҒЫС/ҚАРЖЫЛАНДЫРУ КӨЗІ *(бар болса)*

Мысалы:

Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің IRN 000000001 "ғылыми жобаның атауы" гранттық қаржыландыру шеңберінде жүргізілді.

Әйтпесе, авторлар "зерттеу жеке қаржыландыру көздерін пайдалана отырып жүргізілді" деп көрсетуі керек.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

БЛАГОДАРНОСТИ/ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ *(при наличии)*

Например:

Исследование проводилось в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан IRN 000000001 "Название научного проекта".

В противном случае авторы должны указать, что "исследование проводилось с использованием частных источников финансирования".

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

(This is a template for the article, please follow the instructions and guides given below. This document will be used in future correspondence with reviewers, hence delete all personal information and use the title and the abstract in the main article's language.)

THE TITLE OF THE ARTICLE SHOULD BE SHORT AND INFORMATIVE (NO MORE THAN 10 WORDS)

Abstract. *The abstract (in the language of the article) should briefly outline the main idea and content of the article and comply with the IMRAD structure. The IMRAD structure is the typical organization of a scientific article in scientific journals. Introduction: In this section, the authors present the context and motivation of their study, justify its relevance, formulate the purpose of the study, and provide a review of the literature related to the research topic. The introduction should introduce the reader to the context of the work and interest him. Methodology: This describes the methodology used in the study. This includes a description of data collection methods, equipment, materials, procedures, and statistical methods for data analysis. It is important that the methodology be described in detail and accurately so that other researchers can replicate the study. Results: The actual results of the study are presented here. This may be numerical data, graphs, tables or other forms of information presentation. Results must be presented objectively, without interpretation or discussion. Discussion: In this section, the authors analyze the results obtained, their significance and connection with the hypotheses and purpose of the study. They can also discuss the limitations of the study and possible practical applications of the results. Conclusion: The conclusion provides a brief summary of the work and summarizes the results of the study. Here the authors can highlight the importance of their findings and possible directions for future research. The recommended abstract length is within the range of 200-250 words in English. Other languages must correspond to the translation from English.*

Keywords: *acceptable number: 5-7 keywords and phrases (no more than two words).*

1 INTRODUCTION *(font style: Times New Roman, size: 12, bold, with a newline)*

[Text]

(font style: Times New Roman, size: 12, not bold, with a newline, additional formatting throughout the text is not acceptable (bold, italic, other colors, underlines, crossed etc.) The references to Figures, Tables and Formulas throughout the text are exceptions. Lines in the paragraph should have 1,0 points spacing, Each paragraph should start with a newline of 1cm indent)

The introduction is crucial for capturing the reader's interest. It should provide a concise background, identify gaps in knowledge, and present your study's purpose. Start by summarizing what's known about the topic and highlighting areas of uncertainty, citing relevant sources. This leads to the identification of the knowledge gap your study addresses. State your hypothesis, objectives, and briefly outline your strategy.

Ensure your reasons for conducting the research align with existing scientific knowledge, referencing pertinent publications. Avoid unnecessary details and tailor the background to your target audience (specialists or non-specialists). The introduction should logically lead to the value your study adds – whether it changes the practice or resolves controversies. Use this section to effectively promote your work.

2 LITERATURE REVIEW

[Text]

In this section of the article, comprehensive and concise summary of the existing research and knowledge relevant to your study's topic should be provided. Briefly discuss the historical development of the field, leading up to the current state of knowledge. Highlight the fundamental concepts and theories that underpin the topic. Highlight any ongoing debates, controversies, or differing viewpoints in the field. Discuss the various research methods and approaches used in previous studies and their strengths and weaknesses. Clearly identify the gaps in the existing literature that your study aims to address. Explain why these gaps are significant. Connect the existing literature to your research by explaining how it informs your research questions, objectives, or hypotheses. Organize the review chronologically, thematically, or in a way that makes the most sense for your research and your readers. Be succinct and to the point. Avoid unnecessary details and focus on what's directly relevant to your research.

In summary, the Introduction is a brief section that sets the stage for your study by explaining its importance, while the Literature Review is a more comprehensive and detailed examination of the existing body of knowledge related to your research topic. The two sections work together to provide context and rationale for your study, with the Introduction leading into the more detailed information presented in the Literature Review.

All references should be cited following the format bellow.

In case of 1 cited author, example:

As the **Figure 2** shows the examples of overlaying the compress and the area of salt cleared with a compressor method using the solution of Trilon B (**Adenon, 2019**), it is possible to conclude...

In case of 2 cited authors, example:

Exploring the potential for renewable energy sources, such as solar (**Schmidt & Summerson, 2018**) and wind power...

In case of 3 and more cited authors, example:

Exploring the potential for renewable energy sources, such as solar (**Schmidt et al., 2018**) and wind power...

3 MATERIALS AND METHODS

[Text]

The Methods section aims to provide a clear, replicable account of the study. Each result must have a corresponding method. Previous published procedures require brief summaries and references.

Begin by specifying the study design and justifying any unconventional methodology with references or contextual explanations. Describe the study population, detailing inclusion/exclusion criteria and methods for cases identification.

For retrospective studies, start with source data description, including criteria and the selected case records.

Math formulae. Please submit math equations as editable text and not as images. Present simple formulae in line with normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. Additionally you can insert formulas using Microsoft Word function “Insert - Formula”. Each formula should be numbered.

For example:

$$k = \alpha C_p D_b \quad (1)$$

$$\text{porosity (\%)} = (1 - D_b/D_{th}) \times 100 \quad (2)$$

$$(x + a)^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} x^k a^{n-k} \quad (3)$$

4 RESULTS AND DISCUSSION

[Text]

The Results section should present your observations without commentary. Methods don't need repeating; readers should refer back to the methods section for details. Results should correspond with methods presented earlier.

Present results in the same order as methods with appropriate subsections. Use tables for concise data like baseline characteristics or outcomes. Figures are useful for complex or graphical data, but don't overuse them. Avoid repeating data already in tables or figures in the text.

The Discussion is where you interpret your results and their significance. Start with a brief recap of the main findings. Avoid overinterpretation and maintain a factual tone. Compare your results with existing literature, diplomatically acknowledging discrepancies, and suggesting explanations.

Discuss any surprising findings and their implications. Consider how multiple analyses or interventions collectively impact your results. When referring to other studies, be diplomatic in criticism and emphasize your work's strengths. Avoid altering the emphasis when paraphrasing.

Lastly, have co-authors, mentors, or publication department staff review your work for clarity and correctness.

4.1 [SUBSECTION HEADING] *(if one exists)*

[Text]

4.2 [SUBSECTION HEADING] *(if one exists)*

[Text]

Example for figures representation and caption. All figures (illustrations, schemes, graphs, Gantt charts, pie charts, etc.) should be numbered and formatted as shown in example. Note that while referencing figures through the article's body use formatting below, highlighting it with the bold text and the blue color.

For example:

As the **Figure 2** shows the examples of overlaying the compress and the area of salt cleared with a compressor method using the solution of Trilon B, it is possible to conclude...

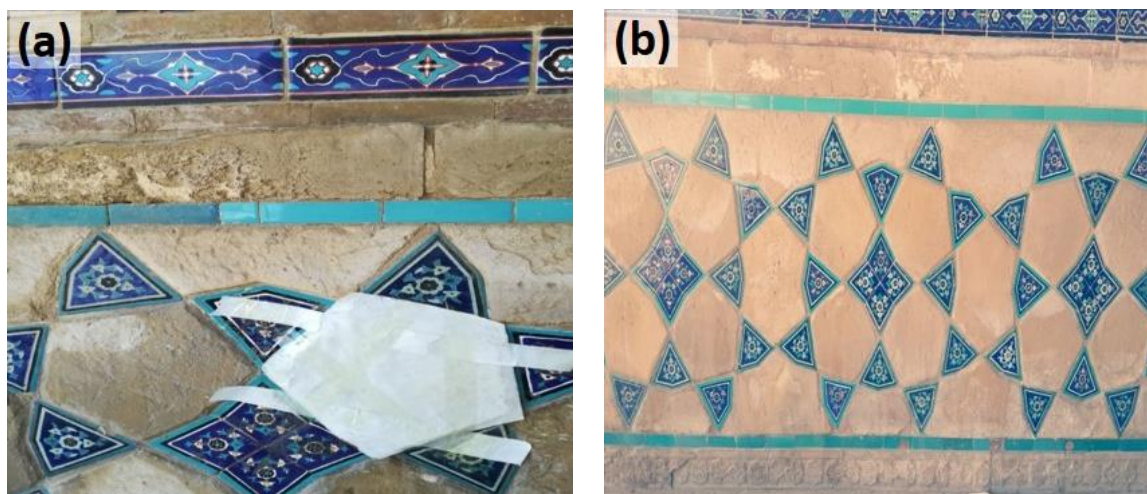


Figure 2 – Example of overlaying the compress (a) and the area of salt cleared with a compressor method using the solution of Trilon B (b) [author’s material].

Table 1

Main reps used for deformation control [author’s material]

Nº	PP 12010	RP1	RP2	RP3
X	7802.8877	7779.3818	7791.6069	7783.4682
Y	-996.2399	-1013.5767	-1004.6966	-985.3698
H	692.633	692.693	692.715	692.730

Table 2

Optimal Solar panel tilt angles by month. [18]

January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
41.4°	36.4°	31.4°	26.4°	21.4°	16.4°	21.4°	26.4°	31.4°	36.4°	41.4°	46.4°

All tables should be numbered and formatted as shown in example. Tables should be indicated by numbers in the text. Place the title centered by the left side above the table. The data should be placed in separate cells of the table to prevent the displacement of text and numbers when converting the table for publication on the Internet. Empty cells can be inserted to create an interval. Tables should not duplicate the information provided in the text. Instead, tables should be used to provide additional information that illustrates or expands on the specific point that the author wishes to highlight. Note that while referencing tables through the article’s body use the formatting below, highlighting it with the bold text and the blue color.

For example:

Exploring the potential for renewable energy sources, such as solar (**Table 2**) and wind power...

All figure and table captions should be written using 10 points font size (2 points smaller than the main text).

5 CONCLUSIONS

[Text]

A conclusion summarizes your main findings, with perhaps a short elaboration with the implications for future research.

REFERENCES

All sources, regardless of the language, must be translated into English and presented together with the transliterated title.

Example:

1. **Nalimov, V. V., & Mulchenko, Z. M.** (1969). *Naukometriya, the Study of the Development of Science as an Information* [Naukometriya, izuchenie razvitiya nauki kak informacionnogo] Process. Nauka: Moscow, Russia. <https://doi.org/10.1007/s42452-022-05262-y> (In Russ.).
2. **Aubakirov N.P., Sainova G.A., Anarbekova G.D** (2020). Cubic monitoring of groundwater of Q.A. Yassawi and Arystanbab mausoleums. *Bulletin of the State University named after Shakarim of Semipalatinsk*, 14(1), 117 [Q. a. Īassauı jäne Arystan Bab keseneleriniñ jer asty sularynyñ tekşe monitoriñi. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta imeni Shakarima goroda Semej*] <https://doi.org/10.1007/s42452-022-05262-y> (In Kaz.).

When quoting a source in Kazakh/Russian languages, after the DOI link it is necessary to indicate the original language in brackets as follows: (in Kaz.), (in Russ.). When quoting articles from scientific publications, it is necessary to indicate the DOI, otherwise the editorial board reserves the right to reject the publication of the manuscript. The required number of sources for writing an article is starting from 15 and more.

Reference to a journal publication example:

Thomas, J. C., & Carroll, J. M. (1979). The psychological study of design. *Design Studies* 1, 5-11. <https://doi.org/10.3390/su14010117>

Reference to a book example:

Cross, N. (2006). *Designrly Ways of Knowing*. London: Springer.

Reference to a chapter in an edited book:

Jones, J. C. (1984). A method of systematic design. In N. Cross (Ed.), *Developments in Design Methodology* (pp. 9-31). Chichester: John Wiley & Sons.

Reference to a Website:

Author, C.C. & Author, D.D. (Date of publication). Title page [file extension when necessary]. Retrieved from <https://www.someaddress.com/full/url/>.

Eco, U. (2015). How to write a thesis [PDF file]. Retrieved from: <https://www.researchgate.net/How-to-write-a-thesis/.../Umberto+Eco-How+to+Write/>

Example:

1. **Lopez-Medina, T., Mendoza-Ávila, I., Contreras-Barraza, N., Salazar-Sepúlveda, G., & Vega-Muñoz, A.** (2021). Bibliometric mapping of research trends on financial behavior for sustainability. *Sustainability*, 14(1), 117. <https://doi.org/10.3390/su14010117>
2. **Nalimov, V. V., & Mulchenko, Z. M.** (1969). *Naukometriya, the Study of the Development of Science as an Information Process*. Nauka: Moscow, Russia. (In Russ.).
3. **Bureau of National Statistics.** (2021). [cited November 30, 2021]. URL:

<http://www.stat.gov.kz>

4. **Ejidike, C. C., & Mewomo, M. C.** (2023). Benefits of adopting smart building technologies in building construction of developing countries: Review of literature. *SN Applied Sciences*, 5(2), 52. <https://doi.org/10.1007/s42452-022-05262-y>

(Бұл мақаланың үлгісі. Төмендегі нұсқауларды орындаңыз. Бұл құжат болашақ рецензенттермен хат алмасуда қолданылады, сондықтан барлық жеке ақпаратты жойып, негізгі мақаланың тілінде тақырып пен аннотацияны қолданыңыз.)

МАҚАЛАНЫҢ АТАУЫ ҚЫСҚА ЖӘНЕ МАЗМҰНДЫ БОЛУЫ КЕРЕК (10 СӨЗДЕН АСПАУЫ КЕРЕК).

Аңдатпа. Аңдатпа (мақала тілінде) мақаланың негізгі идеясы мен мазмұнын қысқаша сипаттап, IMRAD құрылымына сәйкес келуі керек. IMRAD құрылымы медициналық және ғылыми журналдардағы ғылыми мақаланың типтік ұйымы болып табылады. Кіріспе: Бұл бөлімде авторлар өз зерттеуінің мәнмәтінін және мотивациясын ұсынады, оның өзектілігін негіздейді, зерттеу мақсатын тұжырымдайды және зерттеу тақырыбына қатысты әдебиеттерге шолу жасайды. Кіріспе оқырманды шығарманың мәнмәтінімен таныстырып, оны қызықтыруы керек. Әдістеме: Бұл зерттеуде қолданылатын әдістемені сипаттайды. Бұл деректерді жинау әдістерінің, жабдықтың, материалдардың, процедуралардың және деректерді талдаудың статистикалық әдістерінің сипаттамасын қамтиды. Басқа зерттеушілер зерттеуді қайталай алатындай әдістемені егжей-тегжейлі және дәл сипаттау маңызды. Нәтижелер: Зерттеудің нақты нәтижелері осында берілуі керек. Бұл сандық деректер, графиктер, кестелер немесе ақпаратты ұсынудың басқа нысандары болуы мүмкін. Нәтижелер түсіндірусіз немесе талқылаусыз объективті түрде ұсынылуы керек. Талқылау: Бұл бөлімде авторлар алынған нәтижелерді, олардың маңыздылығын және гипотезамен және зерттеу мақсатымен байланысын талдайды. Олар сондай-ақ зерттеудің шектеулерін және нәтижелердің мүмкін практикалық қолданылуын талқылай алады. Қорытынды: Қорытынды жұмыстың қысқаша мазмұнын береді және зерттеу нәтижелерін қорытындылайды. Мұнда авторлар өз тұжырымдарының маңыздылығын және болашақ зерттеулер үшін ықтимал бағыттарды көрсете алады. Ұсынылатын аңдатпа ағылшын тілінде 200-250 сөз ауқымында. Басқа тілдер ағылшын тілінен аудармаға сәйкес болуы керек.

Түйін сөздер: Рұқсат етілген саны: 5-7 түйін сөздер мен сөз тіркестері (екі сөзден артық емес).

1 КІРІСПЕ *(қаріп стилі: Times New Roman, өлшемі: 12, қою, жаңа жол)*

[Мәтін]

(қаріп стилі: Times New Roman, өлшемі: 12, қою емес, азат жол, бүкіл мәтін бойынша қосымша пішімдеуге жол берілмейді (қалың, курсив, басқа түстер, астын сызу, сызылған және т.б.) Мәтін бойынша сызбаларға, кестелерге және формулаларға сілтемелер ерекше жағдайлар болып табылады. Азат жолдар арасындағы Интервал 1,0 тармақты құрауы керек, әр азат жол 1 см шегініспен жаңа жолдан басталуы керек)

Кіріспе оқырманды қызықтыру үшін өте маңызды бөлім болып табылады. Кіріспеде қысқаша ақпарат болуы керек, білімдегі олқылықтарды анықтап, зерттеу мақсатын көрсетуі керек. Тақырып бойынша белгілі нәрсені жалпылаудан және тиісті дереккөздерге сілтеме жасай отырып, белгісіздік аймақтарын бөлектеуден бастаңыз. Бұл сіздің зерттеуіңізде шешілетін білім алшақтығын анықтауға әкеледі. Гипотезаңызды, мақсаттарыңызды белгілеңіз және стратегияңызды қысқаша сипаттаңыз.

Тиісті жарияланымдарға сілтеме жасай отырып, зерттеу жүргізу үшін сіздің дәлелдеріңіз бар ғылыми білімге сәйкес келетініне көз жеткізіңіз. Қажет емес бөлшектерден аулақ болыңыз және фонды мақсатты аудиторияға (мамандарға немесе қарапайым адамдарға) бейімдеңіз. Кіріспе сіздің зерттеуіңіздің қандай құндылық қосатынына қисынды түрде әкелуі керек-ол тәжірибені өзгертеді ме, әлде қайшылықтарды шешеді ме. Жұмысыңызды тиімді жылжыту үшін осы бөлімді пайдаланыңыз.

2 ӘДЕБИЕТКЕ ШОЛУ

[Мәтін]

Мақаланың осы бөлімінде сіздің зерттеу тақырыбыңызға қатысы бар зерттеулер мен білімдердің толық және қысқаша мазмұны ұсынылуы керек. Қазіргі білім жағдайына әкелген осы саланың тарихи дамуын қысқаша талқылаңыз. Берілген тақырыптың негізінде жатқан іргелі ұғымдар мен теорияларды бөліп көрсетіңіз. Осы саладағы кез келген жалғасып жатқан пікірталастарды, қайшылықтарды немесе әртүрлі көзқарастарды бөлектеңіз. Алдыңғы зерттеулерде қолданылған әртүрлі зерттеу әдістері мен тәсілдерін, сондай-ақ олардың күшті және әлсіз жақтарын талқылаңыз. Сіздің зерттеуіңіз шешуге бағытталған қолданыстағы әдебиеттердегі олқылықтарды нақты анықтаңыз. Бұл олқылықтардың неліктен маңызды екенін түсіндіріңіз. Бар әдебиеттерді зерттеу сұрақтарыңызға, мақсаттарыңызға немесе гипотезаларыңызға қалай жауап беретінін түсіндіру арқылы зерттеуіңізбен байланыстырыңыз. Шолуды хронологиялық, тақырыптық немесе сіздің зерттеуіңіз бен оқырмандарыңыз үшін ең мағыналы етіп ұйымдастырыңыз. Қысқа және нақты болыңыз. Қажет емес бөлшектерден аулақ болыңыз және сіздің зерттеуіңізге тікелей қатысы бар нәрсеге назар аударыңыз.

Сонымен, Кіріспе – бұл сіздің зерттеуіңіздің маңыздылығын түсіндіре отырып, оның негізін қалайтын қысқаша бөлім, ал әдебиеттерге шолу сіздің зерттеу тақырыбыңызға қатысты бар білім жиынтығын жан-жақты және егжей-тегжейлі талдау болып табылады. Бұл екі бөлім сіздің зерттеуіңіздің контексті мен негіздемесін қамтамасыз ету үшін бірге жұмыс істейді және кіріспе әдебиеттерді шолуда берілген егжей-тегжейлі ақпаратқа әкеледі.

Барлық сілтемелер төмендегі форматқа сәйкес берілуі керек.

1 келтірілген автор жағдайында мысал:

2-суретте Трилон ерітіндісін (**Adenon, 2019**) қолдана отырып, қысу әдісімен тазартылған компресс пен тұз аймағын қолдану мысалдары көрсетілгендіктен, қорытынды жасауға болады...

Келтірілген 2 автор жағдайында мысал:

Күн энергиясы (**Schmidt & Summerson, 2018, 2018**) және жел энергиясы сияқты жаңартылатын энергия көздерінің әлеуетін зерттеу...

3 немесе одан да көп дәйексөз келтірілген авторлар жағдайында мысал:

Күн сияқты жаңартылатын энергия көздерінің әлеуетін зерттеу (**Schmidt et al., 2018**)

3 МАТЕРИАЛДАР МЕН ӘДІСТЕР

[Мәтін]

"Материалдар мен әдістер" бөлімі зерттеу туралы нақты, қайталанатын есеп беруге бағытталған. Әрбір нәтижеде тиісті әдіс болуы керек. Бұрын жарияланған процедуралар қысқаша мазмұндама мен сілтемелерді қажет етеді.

Зерттеу дизайнын анықтаудан және кез-келген дәстүрлі емес әдістемені сілтемелермен немесе контекстік түсіндірулермен негіздеуден бастаңыз. Зерттеу популяциясын қосып/алып тастау критерийлері мен жағдайларды анықтау әдістерін егжей-тегжейлі сипаттаңыз.

Ретроспективті зерттеулер үшін критерийлер мен таңдалған материалдарды қоса, бастапқы деректерді сипаттаудан бастаңыз.

Математикалық формулалар. Математикалық теңдеулерді кескін ретінде емес, өңделетін мәтін ретінде жіберіңіз. Мүмкіндігінше қарапайым мәтінге сәйкес қарапайым формулаларды ұсыныңыз және X / Y сияқты шағын бөлшек мүшелер үшін көлденең сызықтың орнына солидусты (/) қолданыңыз. Әрбір формула нөмірленуі керек.

Мысалы:

$$k = \alpha C_p D_b \quad (1)$$

$$\text{porosity (\%)} = (1 - D_b/D_{th}) \times 100 \quad (2)$$

$$(x + a)^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} x^k a^{n-k} \quad (3)$$

4 НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

[Мәтін]

Нәтижелер бөлімінде сіздің бақылауларыңыз түсініктемелерсіз ұсынылуы керек. Әдістерді қайталаудың қажеті жоқ; оқырмандар толық ақпарат алу үшін "әдістер" бөліміне қайта оралуы керек. Нәтижелер бұрын ұсынылған әдістерге сәйкес келуі керек.

Нәтижелерді тиісті бөлімдері бар әдістермен бірдей ретпен ұсыныңыз. Бастапқы сипаттамалар немесе нәтижелер сияқты қысқаша мәліметтер алу үшін кестелерді пайдаланыңыз. Сызбалар күрделі немесе графикалық деректер үшін пайдалы, бірақ оларды теріс пайдаланбаңыз. Мәтіндегі кестелерде немесе суреттерде бұрыннан бар деректерді қайталамаңыз.

Талқылау - бұл сіздің нәтижелеріңізді және олардың маңыздылығын түсіндіретін жер. Негізгі тұжырымдардың қысқаша мазмұнынан бастаңыз. Шамадан тыс түсіндіруден аулақ болыңыз және нақты тонды ұстаныңыз. Нәтижелеріңізді қолданыстағы әдебиеттермен салыстырыңыз, сәйкессіздіктерді дипломатиялық түрде мойындаңыз және түсініктеме беріңіз.

Кез келген күтпеген олжалар мен олардың салдарын талқылаңыз. Бірнеше сынақтар немесе араласулар сіздің нәтижелеріңізге қалай әсер ететіні туралы ойланыңыз. Басқа зерттеулерге сілтеме жасағанда, сынға дипломатиялық болыңыз және жұмысыңыздың күшті жақтарын атап өтіңіз. Парафраз жасау кезінде екпінді өзгертуден аулақ болыңыз.

Соңында, бірлескен авторлардан, тәлімгерлерден немесе басылым қызметкерлерінен сіздің жұмысыңыздың анықтығы мен дұрыстығын тексеруді сұраңыз.

4.1 [КІШІ БӨЛІМНІҢ ТАҚЫРЫБЫ] (егер бар болса)

[Мәтін]

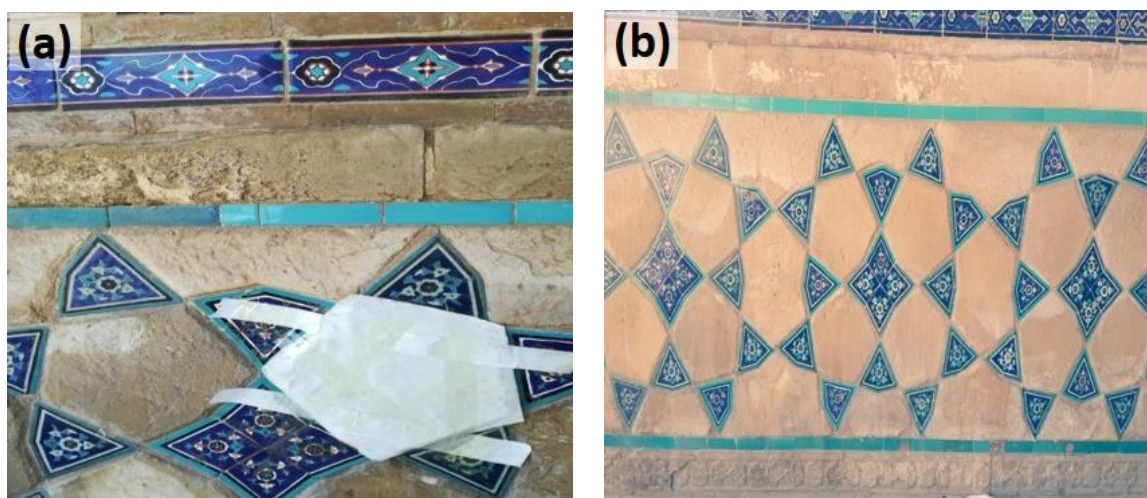
4.2 [КІШІ БӨЛІМНІҢ ТАҚЫРЫБЫ] (егер бар болса)

[Мәтін]

Суреттерді ұсыну және оларға атау беру мысалы. Барлық суреттер (иллюстрациялар, диаграммалар, графиктер, Гант диаграммалары, дөңгелек диаграммалар және т. б.) мысалда көрсетілгендей нөмірленіп, пішімделуі керек. Мақала мәтініндегі сызбаларға сілтеме жасағанда, оны қою және көк түспен бөлектеу арқылы төмендегі пішімдеуді қолданыңыз.

Мысалы:

2-суретте Trilon В ерітіндісін пайдаланып компрессиялық әдіспен тазартылған компресс пен тұз аймағын қолдану мысалдары көрсетілгендіктен, қорытынды жасауға болады...



Сурет 2 – Компрессі (а) және Трилон В (б) ерітіндісін қолдана отырып, қысу әдісімен тазартылған тұзды қолдану мысалы [авторлық материал].

Кесте 1

Деформацияны бақылау үшін қолданылатын негізгі қайталаулар [авторлық материал]

№	PP 12010	RP1	RP2	RP3
X	7802.8877	7779.3818	7791.6069	7783.4682
Y	-996.2399	-1013.5767	-1004.6966	-985.3698
H	692.633	692.693	692.715	692.730

Кесте 2

Ай бойынша күн панельдерінің оңтайлы бұрыштары. [18]

January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
41.4°	36.4°	31.4°	26.4°	21.4°	16.4°	21.4°	26.4°	31.4°	36.4°	41.4°	46.4°

Барлық кестелер мысалда көрсетілгендей нөмірленіп, пішімделуі керек. Кестелер мәтінде сандармен көрсетілуі керек. Тақырыпты кестенің сол жағына туралаңыз. Интернетте жариялау үшін кестені түрлендіру кезінде мәтін мен сандардың ауысуын болдырмау үшін деректерді жеке кесте ұяшықтарына орналастыру керек. Бос ұяшықтарды интервал жасау үшін енгізуге болады. Кестелер мәтінде берілген ақпаратты қайталамауы керек. Оның орнына,

кестелер автордың баса назар аударғысы келетін нақты нүктені бейнелейтін немесе кеңейтетін қосымша ақпарат беру үшін қолданылуы керек. Мақала мәтіндегі кестелерге сілтеме жасағанда, оны қою және көк түспен бөлектеу арқылы төмендегі пішімдеуді пайдаланыңыз.

Мысалы:

Күн энергиясы (**2-кесте**) және жел энергиясы сияқты жаңартылатын энергия көздерінің әлеуетін зерттеу...

Суреттер мен кестелерге барлық қолтаңбалар 10-шы қаріппен жазылуы керек (негізгі мәтіннен 2 пунктке аз).

5 ҚОРЫТЫНДЫЛАР

[Мәтін]

Қорытындыда сіздің негізгі тұжырымдарыңыз қысқаша баяндалады, мүмкін болашақ зерттеулердің салдары туралы қысқаша мәлімет беріледі.

ӘДЕБИЕТТЕР

Тілге қарамастан барлық дереккөздер ағылшын тіліне аударылып, транслитерацияланған атаумен бірге ұсынылуы керек.

Мысал:

3. **Nalimov, V. V., & Mulchenko, Z. M.** (1969). *Naukometriya, the Study of the Development of Science as an Information [Naukometriya, izuchenie razvitiya nauki kak informacionnogo] Process.* Nauka: Moscow, Russia. <https://doi.org/10.1007/s42452-022-05262-y> (In Russ.).
4. **Aubakirov N.P., Sainova G.A., Anarbekova G.D** (2020). Cubic monitoring of groundwater of Q.A. Yassawi and Arystanbab mausoleums. *Bulletin of the State University named after Shakarim of Semipalatinsk*, 14(1), 117 [Q. A. İassauı jäne Arystan Bab keseneleriniñ jer asty sularynyñ tekşe monitoriñi. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta imeni Shakarima goroda Semej*] <https://doi.org/10.1007/s42452-022-05262-y> (In Kaz.).

Қазақ/орыс тілдеріндегі дереккөзге сілтеме жасау кезінде doi сілтемесінен кейін түпнұсқаның тілін жақшада былайша көрсету қажет: (қаз тілінде.), (орыс тілінде.). Ғылыми басылымдардағы мақалаларға сілтеме жасау кезінде дереккөзді көрсету керек, әйтпесе редакция қолжазбаны жариялаудан бас тарту құқығын өзіне қалдырады. Мақала жазу үшін қажетті дереккөздер саны 15 немесе одан да көп.

Журналда жарияланған әдебиетке сілтеме мысалы:

Thomas, J. C., & Carroll, J. M. (1979). The psychological study of design. *Design Studies* 1, 5-11. <https://doi.org/10.3390/su14010117>

Кітапта жарияланған әдебиетке сілтеме мысалы:

Cross, N. (2006). *Designerly Ways of Knowing.* London: Springer.

Өңделген кітаптағы тарауға сілтеме мысалы:

Jones, J. C. (1984). A method of systematic design. In N. Cross (Ed.), *Developments in Design Methodology* (pp. 9-31). Chichester: John Wiley & Sons.

Веб-сайтқа сілтеме:

Author, C.C. & Author, D.D. (Date of publication). Title page [file extension when necessary]. Retrieved from <https://www.someaddress.com/full/url/>.

Eco, U. (2015). How to write a thesis [PDF file]. Retrieved from:

Мысал:

5. **Lopez-Medina, T., Mendoza-Ávila, I., Contreras-Barraza, N., Salazar-Sepúlveda, G., & Vega-Muñoz, A.** (2021). Bibliometric mapping of research trends on financial behavior for sustainability. *Sustainability*, 14(1), 117. <https://doi.org/10.3390/su14010117>
6. **Nalimov, V. V., & Mulchenko, Z. M.** (1969). *Naukometriya, the Study of the Development of Science as an Information Process*. Nauka: Moscow, Russia. (In Russ.).
7. **Bureau of National Statistics.** (2021). [cited November 30, 2021]. *URL:* <http://www.stat.gov.kz>
8. **Ejidike, C. C., & Mewomo, M. C.** (2023). Benefits of adopting smart building technologies in building construction of developing countries: Review of literature. *SN Applied Sciences*, 5(2), 52. <https://doi.org/10.1007/s42452-022-05262-y>

(Это шаблон для статьи. Следуйте инструкциям и руководствам, приведенным ниже. Этот документ будет использоваться в будущей переписке с рецензентами, поэтому удалите всю личную информацию и используйте заголовок и аннотацию на языке основной статьи.)

НАЗВАНИЕ СТАТЬИ ДОЛЖНО БЫТЬ КРАТКИМ И ИНФОРМАТИВНЫМ (НЕ БОЛЕЕ 10 СЛОВ)

Аннотация. *Абстракт (на языке статьи) должен кратко изложить основной замысел и содержание статьи и соответствовать структуре IMRAD. Структура IMRAD – это типичная организация научной статьи в медицинских и научных журналах. Введение: В этом разделе авторы представляют контекст и мотивацию своего исследования, обосновывают его актуальность, формулируют цель исследования, а также предоставляют обзор литературы, связанной с темой исследования. Введение должно ввести читателя в контекст работы и заинтересовать его. Методология: здесь описывается методология, используемая в исследовании. Это включает в себя описание методов сбора данных, оборудование, материалы, процедуры и статистические методы анализа данных. Важно, чтобы методология была описана подробно и точно, чтобы другие исследователи могли воспроизвести исследование. Результаты: Здесь представляются фактические результаты исследования. Это могут быть числовые данные, графики, таблицы или другие формы представления информации. Результаты должны быть представлены объективно, без интерпретации или обсуждения. Обсуждение: В этом разделе авторы анализируют полученные результаты, их значимость и связь с гипотезами и целью исследования. Они также могут обсудить ограничения исследования и возможные практические применения результатов. Заключение: Заключение содержит краткое резюме работы и подводит итоги исследования. Здесь авторы могут подчеркнуть важность своих результатов и возможные направления будущих исследований. Рекомендуемый объем аннотации укладывается в диапазон из 200-250 слов на английском языке. Остальные языки должны соответствовать переводу с английского языка.*

Ключевые слова: *Допустимое количество 5-7 ключевых слов и словосочетаний (не более двух слов).*

1 ВВЕДЕНИЕ *(стиль шрифта: Times New Roman, размер: 12, полужирный, с новой строкой)*

[Текст]

(стиль шрифта: Times New Roman, размер: 12, не полужирный, с новой строкой, дополнительное форматирование по всему тексту недопустимо (жирный шрифт, курсив, другие цвета, подчеркивания, зачеркнутые и т.д.) Ссылки на рисунки, таблицы и формулы по тексту являются исключениями. Интервал между строками в абзаце должен составлять 1,0 пункта, каждый абзац должен начинаться с новой строки с отступом 1 см)

Введение имеет решающее значение для того, чтобы заинтересовать читателя. В нем должна содержаться краткая справочная информация, выявляться пробелы в знаниях и излагаться цель вашего исследования. Начните с обобщения того, что известно по теме, и выделения областей неопределенности со ссылкой на соответствующие источники. Это приводит к выявлению пробела в знаниях, который устраняется в вашем исследовании. Изложите свою гипотезу, цели и кратко обрисуйте свою стратегию.

Убедитесь, что ваши доводы в пользу проведения исследования соответствуют существующим научным знаниям, сославшись на соответствующие публикации. Избегайте ненужных деталей и адаптируйте предысторию к вашей целевой аудитории (специалистам или неспециалистам). Введение должно логически подводить к тому, какую ценность добавляет ваше исследование – независимо от того, изменяет ли оно практику или разрешает противоречия. Используйте этот раздел для эффективного продвижения своей работы.

2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

[Текст]

В этом разделе статьи должно быть представлено исчерпывающее и краткое изложение существующих исследований и знаний, имеющих отношение к теме вашего исследования. Кратко обсудите историческое развитие этой области, приведшее к современному состоянию знаний. Выделите фундаментальные концепции и теории, лежащие в основе данной темы. Выделите любые продолжающиеся дебаты, противоречия или различные точки зрения в данной области. Обсудите различные методы исследования и подходы, использованные в предыдущих исследованиях, а также их сильные и слабые стороны. Четко определите пробелы в существующей литературе, на устранение которых направлено ваше исследование. Объясните, почему эти пробелы значительны. Свяжите существующую литературу с вашим исследованием, объяснив, как она отвечает на ваши исследовательские вопросы, цели или гипотезы. Организуйте обзор в хронологическом порядке, тематически или таким образом, чтобы это имело наибольший смысл для вашего исследования и ваших читателей. Будьте кратки и по существу. Избегайте ненужных деталей и сосредоточьтесь на том, что имеет непосредственное отношение к вашему исследованию.

Таким образом, Введение - это краткий раздел, который подготавливает почву для вашего исследования, объясняя его важность, в то время как обзор литературы представляет собой более всесторонний и детальный анализ существующей совокупности знаний, относящихся к теме вашего исследования. Эти два раздела работают вместе, чтобы обеспечить контекст и обоснование вашего исследования, а введение ведет к более подробной информации, представленной в обзоре литературы.

Все ссылки должны быть приведены в соответствии с приведенным ниже форматом.

В случае 1 цитируемого автора, пример:

Поскольку на **Рисунке 2** показаны примеры наложения компресса и области соли, очищенной компрессионным методом с использованием раствора Трилона В (**Adenon, 2019**), можно сделать вывод...

В случае 2 цитируемых авторов, пример:

Поскольку на **Рисунке 2** показаны примеры наложения компресса и области соли, очищенной компрессионным методом с использованием раствора Трилона В (**Schmidt & Summerson, 2018**), можно сделать вывод...

В случае 3 и более цитируемых авторов, пример:

Поскольку на **Рисунке 2** показаны примеры наложения компресса и области соли, очищенной компрессионным методом с использованием раствора Трилона В (**Schmidt et al., 2018**), можно сделать вывод...

3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

[Текст]

Раздел "Методы" направлен на предоставление четкого, воспроизводимого отчета об исследовании. Каждый результат должен иметь соответствующий метод. Ранее опубликованные процедуры требуют краткого изложения и ссылок.

Начните с определения дизайна исследования и обоснования любой нетрадиционной методологии ссылками или контекстуальными объяснениями. Опишите исследуемую популяцию с подробным описанием критериев включения/исключения и методов выявления случаев.

Для ретроспективных исследований начните с описания исходных данных, включая критерии и выбранные материалы.

Математические формулы. Пожалуйста, используйте математические уравнения в виде редактируемого текста, а не в виде изображений. Представляйте простые формулы в соответствии с обычным текстом, где это возможно, и используйте знак дроби (/) вместо горизонтальной линии для небольших дробных членов, например, X/Y. Дополнительно вы можете вставлять формулы, используя функцию Microsoft Word "Вставить формулу". Каждая формула должна быть пронумерована.

Например:

$$k = \alpha C_p D_b \quad (1)$$

$$\text{porosity (\%)} = (1 - D_b/D_{th}) \times 100 \quad (2)$$

$$(x + a)^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} x^k a^{n-k} \quad (3)$$

4 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

[Текст]

В разделе "Результаты" должны быть представлены ваши наблюдения без комментариев. Методы не нуждаются в повторении; читателям следует вернуться к разделу "Методы" для получения подробной информации. Результаты должны соответствовать методам, представленным ранее.

Представьте результаты в том же порядке, что и методы с соответствующими подразделами. Используйте таблицы для представления кратких данных, таких как исходные характеристики или результаты. Рисунки полезны для сложных или графических данных, но не злоупотребляйте ими. Избегайте повторения данных, уже содержащихся в таблицах или рисунках в тексте.

Обсуждения — это то, где вы интерпретируете свои результаты и их значимость. Начните с краткого изложения основных выводов. Избегайте чрезмерного толкования и придерживайтесь фактологического тона. Сравните свои результаты с существующей литературой, дипломатично признавая расхождения и предлагая объяснения.

Обсудите любые неожиданные находки и их последствия. Подумайте о том, как несколько анализов или вмешательств в совокупности влияют на ваши результаты. Когда вы ссылаетесь на другие исследования, будьте дипломатичны в критике и подчеркивайте сильные стороны вашей работы. Избегайте изменения акцента при перефразировании.

Наконец, попросите соавторов, наставников или сотрудников отдела проверить вашу работу на предмет ясности и корректности.

4.1 [ЗАГОЛОВОК ПОДРАЗДЕЛА] (при наличии)

[Текст]

4.2 [ЗАГОЛОВОК ПОДРАЗДЕЛА] (при наличии)

[Текст]

Пример представления рисунков и подписи к ним. Все рисунки (иллюстрации, схемы, графики, диаграммы Ганта, круговые диаграммы и т.д.) должны быть пронумерованы и отформатированы, как показано в примере. Обратите внимание, что при ссылках на рисунки в тексте статьи нужно использовать приведенное ниже форматирование, выделяя его жирным шрифтом и синим цветом.

Например:

Поскольку на **Рисунке 2** показаны примеры наложения компресса и области соли, очищенной компрессионным методом с использованием раствора Трилона В, можно заключить...

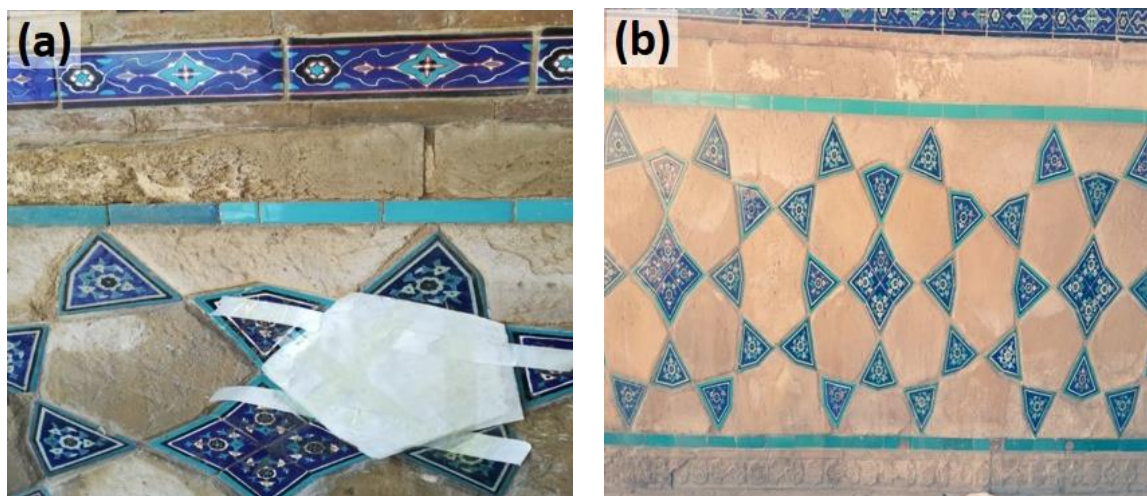


Рисунок 2 – Пример наложения компресса (а) и области соли, очищенной компрессионным методом с использованием раствора Трилона В (б) (материалы автора).

После названия рисунка необходимо в обычных скобках указать источник материала. Если материал является авторским и нигде не опубликован, то в обычной скобке указывается как (материалы автора). Если материал был взят с интернет источника, необходимо в скобке указать источник согласно АРА стилю, например,

Таблица 1

Основные повторения, используемые для контроля деформации [материалы автора]

№	PP 12010	RP1	RP2	RP3
X	7802.8877	7779.3818	7791.6069	7783.4682
Y	-996.2399	-1013.5767	-1004.6966	-985.3698
H	692.633	692.693	692.715	692.730

Таблица 2

Оптимальные углы наклона солнечных панелей по месяцам. [18]

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
41.4°	36.4°	31.4°	26.4°	21.4°	16.4°	21.4°	26.4°	31.4°	36.4°	41.4°	46.4°

Все таблицы должны быть пронумерованы и отформатированы, как показано в примере. Таблицы должны быть обозначены цифрами в тексте. Разместите заголовок по центру с левой стороны над таблицей. Данные должны быть помещены в отдельные ячейки таблицы, чтобы предотвратить смещение текста и цифр при преобразовании таблицы для публикации в Интернете. Пустые ячейки могут быть вставлены для создания интервала. Таблицы не должны дублировать информацию, представленную в тексте. Вместо этого следует использовать таблицы для предоставления дополнительной информации, иллюстрирующей или расширяющей конкретный момент, который автор желает подчеркнуть. Обратите внимание, что при ссылках на таблицы в тексте статьи используйте приведенное ниже форматирование, выделяя его жирным шрифтом и синим цветом.

Например:

Использование потенциала возобновляемых источников энергии, таких как солнечная энергия (**Таблица 2**) и энергия ветра...

Все подписи к рисункам и таблицам должны быть написаны шрифтом размером 10 пунктов (на 2 пункта меньше чем основной текст статьи).

5 ВЫВОДЫ

[Текст]

В заключении кратко излагаются ваши основные выводы, возможно, с кратким изложением последствий для будущих исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Все источники, независимо от языка, должны быть переведены на английский и представлены вместе с транслитерированным названием.

Например:

5. **Nalimov, V. V., & Mulchenko, Z. M.** (1969). *Naukometriya, the Study of the Development of Science as an Information* [Naukometriya, izuchenie razvitiya nauki kak informacionnogo] Process. Nauka: Moscow, Russia. <https://doi.org/10.1007/s42452-022-05262-y> (In Russ.).
6. **Aubakirov N.P., Sainova G.A., Anarbekova G.D** (2020). Cubic monitoring of groundwater of Q.A. Yassawi and Arystanbab mausoleums. *Bulletin of the State University named after Shakarim of Semipalatinsk*, 14(1), 117 [Q. a. İassauı jäne Arystan Bab keseneleriniñ jer asty sularynyñ tekşe monitoriñi. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta imeni Shakarima goroda Semej*] <https://doi.org/10.1007/s42452-022-05262-y> (In Kaz.).

При цитировании источника на казахском/русском языках после ссылки DOI необходимо указать язык оригинала в скобках следующим образом: (на каз.), (на рус.). При цитировании статей из научных изданий необходимо указывать DOI, в противном случае редакция оставляет за собой право отклонить публикацию рукописи. **Необходимое количество источников для**

написания научной статьи – от 15 и более, а для обзорной статьи – от 30 и более.

Ссылка на публикации в журнале:

1. **Thomas, J. C., & Carroll, J. M.** (1979). The psychological study of design. *Design Studies* 1, 5-11. <https://doi.org/10.3390/su14010117>

Ссылка на книги:

1. **Cross, N.** (2006). *Designerly Ways of Knowing*. London: Springer

Ссылка на главу в отредактированной книге:

1. **Jones, J. C.** (1984). A method of systematic design. In N. Cross (Ed.), *Developments in Design Methodology* (pp. 9-31). Chichester: John Wiley & Sons.

Ссылка на онлайн источник (website):

1. **Author, C.C. & Author, D.D.** (Date of publication). Title page [file extension when necessary]. Retrieved from: <https://www.someaddress.com/full/url/>.
2. **Eco, U.** (2015). How to write a thesis [PDF file]. Retrieved from: <https://www.researchgate.net/How-to-write-a-thesis/.../Umberto+Eco-How+to+Write/>

Например:

9. **Lopez-Medina, T., Mendoza-Ávila, I., Contreras-Barraza, N., Salazar-Sepúlveda, G., & Vega-Muñoz, A.** (2021). Bibliometric mapping of research trends on financial behavior for sustainability. *Sustainability*, 14(1), 117. <https://doi.org/10.3390/su14010117>
10. **Nalimov, V. V., & Mulchenko, Z. M.** (1969). *Naukometriya, the Study of the Development of Science as an Information Process*. Nauka: Moscow, Russia. (In Russ.).
11. **Bureau of National Statistics.** (2021). [cited November 30, 2021]. *URL:* <http://www.stat.gov.kz>
12. **Ejidike, C. C., & Mewomo, M. C.** (2023). Benefits of adopting smart building technologies in building construction of developing countries: Review of literature. *SN Applied Sciences*, 5(2), 52. <https://doi.org/10.1007/s42452-022-05262-y>

ҚазБСҚА ХАБАРШЫСЫ 2(92) 2024

Ғылыми журнал
2001 жылдан шыға бастады.
Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық
келісім министрлігінде тіркеліп,
2000 жылдың 14 тамызында №1438-Ж куәлігі берілген.
2021 жылдан бастап ашық қол жетімді электронды интернет-басылым ретінде
шығарылады (<https://vestnik.mok.kz>)

ВЕСТНИК КазГАСА 2(92) 2024

Научный журнал
Издается с 2001 г.
Зарегистрирован Министерством информации и общественного согласия
Республики Казахстан. Свидетельство №1438-Ж от 14 августа 2000 г.
С 2021 года журнал выходит как электронное онлайн-издание с открытым
доступом (<https://vestnik.mok.kz>).

Материалды компьютерде беттеген/
верстка оригинал-макета – *Ибрашева М.А.*
Редактор – *Есимханова А.Е.*

Басуға 30.06.2024 ж. қол қойылды.
Форматы 70x100/16. Офсет қағазы.
Есептік баспа табағы 19,87. Шартты баспа табағы 20,25.
Таралымы 250 дана.
Бағасы келісім бойынша.

Подписано 30.06.2024 г. в печать.
Формат 70x100/16. Бумага офсетная.
Уч.-изд. л. 19,87. Усл. печ. л. 20,25.
Тираж 250 экз.
Цена договорная.

Халықаралық білім беру корпорациясы, 2023
050043, Алматы қ-сы, Қ. Рысқұлбеков к-сі, 28
«Құрылыс және сәулет» баспасында басылып шықты
050043, Алматы қ-сы, Қ. Рысқұлбеков к-сі, 28

Международная образовательная корпорация, 2023
050043, г. Алматы, ул. К. Рыскулбекова, 28
Отпечатано в Издательстве «Строительство и архитектура»
050043, г. Алматы, ул. К. Рыскулбекова, 28
Тел. 8 (727) 220 81 03
kazgasa@mail.ru, science@kazgasa.kz