

ISSN (Print) 2616-7263
ISSN (Online) 2663-1261

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

BULLETIN

of L.N. Gumilyov
Eurasian National University

ВЕСТНИК

Евразийского национального
университета имени Л.Н. Гумилева

ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР сериясы

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY Series

Серия ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ

№2 (151)/ 2025

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Астана, 2025

Astana, 2025

Бас редакторы: Тогизбаева Б.Б.

т.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан

Бас редактордың орынбасары **Жусупбеков А.Ж.**, т.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан

Жауапты редактор **Закирова А.Б.**, п.ғ.к. (комп. ғылымдар), доцент, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан

Редакция алқасы

Levente Kovács	Профессор, Обуда университеті, Мажарстан
Aljawarneh Shadi A.	Профессор, Иордания ғылым және технология университеті, Иордания
Milani Alfredo	Профессор, Перуджио университеті, Италия
Rafal Burdzik	Профессор, Силезиялық технологиялар университеті, Польша
Akitoshi Mochizuki	Профессор, Токусима университеті, Жапония
András Molnár	Профессор, Обуда университеті, Мажарстан
Der Wen Chang	Профессор, Тамканг Университеті, Тайвань
Yoshinori Iwasaki	Профессор, Гео зерттеу университеті, Жапония
Eun Chul Shin	Профессор, Ичхон ұлттық университеті, Оңтүстік Корея
Viktor Kaliakin	Профессор, Делавер Университеті, АҚШ
Рустем Сахапов	Профессор, Казан мемлекеттік университет, Ресей
Tadatsugu Tanaka	Профессор, Токио Университеті, Жапония
Hoe Ling	Профессор, Колумбия университеті, АҚШ
Гульмира Бекманова	Профессор, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Елбек Утепов	Профессор, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Асель Тулебекова	Профессор, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Бану Ергеш	Қауымдастырылған профессор, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Рахима Чекаева	Профессор, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Жанболат Шахмов	Профессор, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Михаил Жумагулов	Қауымдастырылған профессор, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Данияр Базарбаев	PhD, ТОО «Solid Research Group», Астана, Қазақстан
Алия Забиева	Қауымдастырылған профессор, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан

Редакцияның мекен жайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Сәтбаев к-сі, 2,

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 402 б.

Тел.: +7 (7172) 709-500, (ішкі: 31-315). **E-mail:** vest_techsci@enu.kz

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы

ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР сериясы

Меншіктенуші: КеАҚ "Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті"

Мерзімділігі: жылына 4 рет

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігімен тіркелген

19.04.2021 ж. № KZ31VPY00034682 қайта есепке қою туралы куәлігі

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Қажымұқан к-сі 13/1

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Тел: +7 (7172)709-500 (ішкі 31-315). Сайт: <http://bultech.enu.kz>

Editor-in-Chief: Baglan Togizbayeva

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

Deputy Editor-in-Chief

Askar Zhussupbekov, Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Executive editor

Alma Zakirova, Assoc. Prof. (comp. sci.), L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Editorial board

Levente Kovács	Prof., Óbuda University, Budapest, Hungary
Aljawarneh Shadi A.	Prof., Jordan University of Science and technology, Jordan
Milani Alfredo	Prof., University of perugio
Rafal Burdzik	Prof., Silesian university of technology, Poland
Akitoshi Mochizuki	Prof., University of Tokushima, Tokushima, Japan
András Molnár	Prof., Óbuda University, Budapest, Hungary
Der Wen Chang	Prof., Tamkang University, Taipei, Taiwan (ROC)
Yoshinori Iwasaki	Prof., Geo Research Institute, Osaka, Japan
Eun Chul Shin	Prof., Incheon National University, Incheon, South Korea
Viktor Kaliakin	Prof., University of Delaware, Newark, Delaware, USA
Рысрем Сахапов	Prof., Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan
Tadatsugu Tanaka	Prof., University of Tokyo, Tokyo, Japan
Hoe Ling	Prof., Columbia University, New York, USA
G.Bekmanova	Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
Y.Utepov	Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
A.Tulebekova	Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
B.Yergesh	Assos.Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
R.Chekayeva	Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
Zh.Shakhmov	Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
M.Zhumagulov	Assos.Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
D.Bazarbayev	PhD, TOO «Solid Research Group», Astana, Kazakhstan
A.Zabiyeva	Assos.Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Editorial address: 2, Satpayev str., of. 402,

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, 010008

Tel.: +7 (7172) 709-500, (ext. 31-315), **E-mail:** vest_techsci@enu.kz

Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University

TECHNICAL SCIENCES and TECHNOLOGY Series

Owner: Non-profit joint-stock company «L.N. Gumilyov Eurasian National University»

Periodicity: 4 times a year

Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan

Rediscount certificate № KZ31VPY00034682 from 19.04.2021

Address of Printing Office: 13/1 Kazhimukan str., Astana, Kazakhstan 010008

L.N. Gumilyov Eurasian National University

Tel: +7 (7172) 709-500 (ext.31-315). Website: <http://bultech.enu.kz>

Главный редактор: Тогизбаева Б.Б.

д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Зам. главного редактора

Жусупбеков А.Ж., д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Ответственный редактор

Закирова А.Б., к.п.н. (комп. науки), доцент, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Редакционная коллегия

Levente Kovács	Профессор, Обуда университет, Мажарстан
Aljawarneh Shadi A.	Профессор, Университет Науки и Технологии Иордании, Иордания
Milani Alfredo	Профессор, Университ Перуджио, Италия
Rafal Burdzik	Профессор, Силезский университет Технологии, Польша
Akitoshi Mochizuki	Профессор, университет Токусима, Япония
András Molnár	Профессор, Обуда университет, Мажарстан
Der Wen Chang	Профессор, Тамканг Университеті, Тайвань
Yoshinori Iwasaki	Профессор, Института Гео исследований, Япония
Eun Chul Shin	Профессор, Ичхонского национального университета, Южная Корея
Viktor Kaliakin	Профессор, Университет штата Делавэр, США
Рустем Сахапов	Профессор, Казанский государственный университет, Россия
Tadatsugu Tanaka	Профессор, Университет Токио, Япония
Hoe Ling	Профессор, Колумбийский университет, США
Гульмира Бекманова	Профессор, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Елбек Утепов	Профессор, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Асель Тулебекова	Профессор, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Бану Ергеш	Ассоц. профессор, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Рахима Чекаева	Профессор, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Жанболат Шахмов	Профессор, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Михаил Жумагулов	Ассоц. профессор, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Данияр Базарбаев	PhD, ТОО «Solid Research Group», Астана, Казахстан
Алия Забиева	Ассоц. профессор, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Адрес редакции: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2,
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, каб. 402
Тел.: +7(7172) 709-500, (вн. 31-315). **E-mail:** vest_techsci@enu.kz

Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева
Серия ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Собственник: НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева» Периодичность:
4 раза в год

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан Свидетельство
о постановке на переучет № KZ31VPY00034682 от 19.04.2021 г.

Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Кажымукана, 13/1,
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева
Тел.: +7(7172)709-500 (вн.31-315). Сайт: <http://bultech.enu.kz>

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ ХАБАРШЫСЫ
ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР СЕРИЯСЫ

ВЕСТНИК ЕВРАЗИЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМЕНИ Л.Н. ГУМИЛЕВА. СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ

BULLETIN OF L.N. GUMILYOV EURASIAN NATIONAL UNIVERSITY
TECHNICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY SERIES

№2 (151)/2025

МАЗМҰНЫ/ CONTENT/ СОДЕРЖАНИЕ

М.М.Махмудов, М.Б.Хаитов

Термоблоктардан жасалған қаңқалы ғимараттардың сыртқы қабырғаларының ішкі бетінде конденсаттың түзілуіне тексеру.....

М.М. Makhmudov, M.B. Khaitov

Condensation Check on the Inner Surface of the External Walls of Frame Buildings Made of thermoblocks.....

М.М.Махмудов, М.Б.Хаитов

Проверка на образование конденсата на внутренней поверхности наружных стен каркасных зданий, выполненных из термоблоков..... 9

М.А. Бақыт, Х. Молдамұрат, С.К. Атанов, Д. Калманова

Төмен орбиталық ұшақтар үшін орман өрттерін бақылауға арналған жоғары жылдамдықты деректерді шифрлау және геоақпараттық жүйе.....

М.А. Bakyt, Kh. Moldamurat, S.A. Atanov, D.Kalmanova

High-speed data encryption and geoinformation system for monitoring forest fires for low-orbit aircraft.....

М.А.Бақыт, Х.Молдамұрат, С.К.Атанов, Д. Калманова

Высокоскоростная система шифрования данных и геоинформации для мониторинга лесных пожаров для низкоорбитальных самолетов..... 20

Б. Амиралиев, Б. Таймасов, А. Куандықова, Е. Потапова, Н. Айнабеков

Цемент өндірісінің қазіргі даму тенденциялары.....

B. Amiraliyev, B.Tamasov, A. Kuandykov, E. Potapova, N. Ainabekov

Modern trends in the development of cement production.....

Б. Амиралиев, Б.Таймасов, А. Куандықова, Е. Потапова, Н. Айнабеков

Современные тенденции развития цементного производства..... 38

Б.Р. Исакулов, Ф.Т. Балмагамбетова, А.Р. Сундетова, А.Б. Исакулов, Б.М. Дәкір

Арболит бетон композиттерінің физикалық-механикалық сипаттамаларын сұйық күкіртпен терең сіңіру арқылы жақсарту.....

B.R. Isakulov, F.T. Balmaganbetova, A.R. Sundetova, A.B. Issakulov, B.M. Dakir

Increase of physical and mechanical parameters of arbolite-concrete composites by deep impregnation with liquid sulfur.....

Б.Р. Исакулов, Ф.Т. Балмагамбетова, А.Р. Сундетова, А.Б. Исакулов, Б.М. Дәкір

Повышение физико-механических показателей арболитобетонных композитов путем глубокой пропитки жидкой серой..... 59

Т.М.Бузауова, А.Е.Бусурманова

СББ станоктарында сұр шойынды өңдеу: мәселелер, математикалық модельдеу.....

T.M.Buzauova, A.E. Busurmanova

Machining of grey cast iron on CNC machines: problems, mathematical modeling.....

Т.М. Бузауова, А.Е Бусурманова

Механическая обработка серого чугуна на станках с ЧПУ: проблемы, математическое моделирование..... 77

Д.С.Мырзалиев, О.Б Сейдуллаева, Д.А.Абзалова, Н.Н.Рахымтай

Механикалық өңдеу кезінде беттердің кернеулі-деформацияланған күйін зерттеу.....

D.S.Myrzalyiev, O.B. Seidullayeva, D.A.Abzalova, N.N.Rakhymtai

Investigation of the stress-strain state of surfaces during mechanical processing.....

Д.С.Мырзалиев, О.Б Сейдуллаева, Д.А.Абзалова, Н.Н.Рахымтай

Исследование напряженно-деформированного состояния поверхностей при механической обработке..... 93

О.В. Гармаш, М.Е.Қалекеева, Г.В. Мұратбекова, И.Ж. Асильбекова, М.А.Гожяхметова

Қазақстан Республикасында электр жүктерін пайдалану мүмкіндіктері.....

O.V. Garmash, M. E. Kalekeyeva, G.V. Muratbekova, I.Zh. Assilbekova, M. A. Gozhakhmetova

Possibilities of using electric trucks in the Republic of Kazakhstan.....

О.В. Гармаш, М.Е.Қалекеева, Г.В.Муратбекова, И.Ж. Асильбекова,М.А. Гожяхметова

Возможности использования электрогрузовиков в Республике Казахстан..... 107

А.М. Мулдағалиева, Т.Т.Мусабаев, С.Э. Мамедов

Астана қаласының қала құрылысын дамыту моделі XX ғасырдың бірінші жартысында.....

A.M. Muldagalieva, T.T. Musabayev, S.E. Mamedov

Model of urban development of the city of Astana in the first half of the XX century.....

А.М. Мулдағалиева, Т.Т.Мусабаев, С.Э. Мамедов

Модель градостроительного развития города Астаны в первой половине XX века..... 120

А. Т. Алибаев, Е. Н. Хван

Жайлы өмір сүру ортасының архитектурасын қалыптастырудың заманауи принциптері....

A. T. Alibayev, Y. N. Khvan

Modern principles of forming the architecture of a comfortable living environment.....

А. Т. Алибаев, Е. Н. Хван

Современные принципы формирования архитектуры комфортной жилой среды..... 137

Қ.Қ. Қуанышбекова, Б.Б. Тогизбаева, У.Ш.Кокаев, М.Т.Сәрсенбаев

Таспалы шөмішті элеваторларының қолданыстағы конструкцияларына шолу.....

K.K. Kuanyshbekova, B.B. Togizbayeva, U.Sh. Kokayev, M.T. Sarsenbayev

An overview of existing designs for belt bucket elevators.....

Қ.Қ. Қуанышбекова, Б.Б. Тогизбаева, У.Ш. Кокаев, М.Т. Сәрсенбаев

Обзор существующих конструкций ленточных ковшевых элеваторов..... 156

Д.М. Мамбетов , В.Е. Джундибаев, У.Т. Касымов

Көгалдандыру және ландшафтық құрылыс машиналарының жұмыс бөліктерін жөнелту және оларды тез ауыстыруды қамтамасыз ету.....

D.M. Mambetov , V.E. Dzhundibaev, U.T. Kasymov

Dispatching the working parts of gardening and landscape construction machines and ensuring their rapid replacement.....

Д.М. Мамбетов, В.Е. Джундибаев, У.Т. Касымов

Диспетчеризация рабочих органов машин садово-паркового и ландшафтного строительства и обеспечение их быстросменяемости 167

А.Қ. Мустафа, Е.З. Нұғман, Н.С. Камзанов, Ж.С. Тургунов

Сериялық, параллель және гибриді манипуляторларға шолу: функционалдық мүмкіндіктері мен шектеулері.....

A. Mustafa, Y. Nugman, Zh. Turgunov, N. Kamzanov

Review of Serial, Parallel, and Hybrid Manipulators: Functional Capabilities and

Limitations.....	
А.Қ. Мустафа, Е.З. Нұрман, Н.С. Камзанов, Ж.С. Тургунов Обзор серийных, параллельных и гибридных манипуляторов: функциональные возможности и ограничения.....	181
И.И. Остапенко, К.Б. Бектурганова, Д.Г. Дюсенова, Р.У. Чекаева, А.М. Есенбаев Семиотика орнаментальных фасадов в жилых микрорайонах Алматы.....	
И.И. Остапенко, К.Б. Бектурганова, Д.Г. Дюсенова, Р.У. Чекаева, А.М. Есенбаев Алматының шағын тұрғын аудандарындағы сәндік қасбеттердің семиотикасы.....	
I. Ostapenko, K.Bekturganova, D.Dyussenova, R. Chekaeva, A. Yessenbayev The semiotics of ornamental facades in residential microdistricts of Almaty.....	195
Д.М. Киргизбаева, Т.Б. Нурпеисова, Н.С. Доненбаева, М.М. Абдиров, М.Б. Нурпеисова Қашықтықтан зондтау арқылы су тасқынының динамикалық өзгерістерін бақылау және талдау.....	
Д.М. Киргизбаева, Т.Б. Нурпеисова, Н.С. Доненбаева, М.М. Абдиров, М.Б. Нурпеисова Мониторинг и анализ динамических изменений наводнений с использованием дистанционного зондирования.....	
D.M. Kirgizbayeva, T.B. Nurpeisova, N.S. Donenbayeva, M.M. Abdirov, M.B. Nurpeisova Monitoring and analysis of dynamic changes in flooding through remote sensing.....	209
С.Р. Турсынбекова, Б.Д. Сулеев, Г.Е. Сиргетаева, А.М. Искакова Повышение эффективности работы системы охлаждения гидравлического привода транспортной техники, работающей в критических условиях.....	
С.Р. Турсынбекова, Б.Д. Сулеев, Г.Е. Сиргетаева, А.М. Искакова Жоғары температурада жұмыс істейтін көлік техникасының көлік техникасының гидравликалық жетегінің салқындату жүйесінің жұмыс тиімділігін жоғарылату.....	
S.R. Tursynbekova, B.D. Suleev, G.E. Sirgetaeva, A.M. Iskakova Improving the efficiency of the hydraulic drive cooling system of vehicles operating in critical conditions.....	222
А.К. Тулешов, Ж. Т. Айтуганова, А.Ж. Абекова, А.Е. Исмайылов Разработка алгоритмов управления мобильным роботом на основе условий аккермана.....	
А.К. Тулешов, Ж. Т. Айтуганова, А.Ж. Абекова, А.Е. Исмайылов Аккерман шарттарына негізделген мобильді роботты басқару алгоритмдерін әзірлеу.....	
A.K. Tuleshov, Zh.T. Aituganova, Abekova A.J, Ismayilov A.E Development of mobile robot control algorithms based on ackerman conditions.....	237
М.Б. Батырбек, С.Ж. Кабикенов Автомобильдерді техникалық қызмет көрсету және жөндеу үшін қосалқы бөлшектерге қажеттілікті болжау және оңтайландыру.....	
M.B. Batyrbek, S.Zh. Kabikenov. Forecasting Demand and Optimization of Spare Parts for Maintenance and Repair of automobiles.....	
М.Б. Батырбек, С.Ж. Кабикенов Прогнозирование потребности и оптимизация запасных частей для технического обслуживания и ремонта автомобилей.....	250
С.Е.Ниембай, Е.Т.Бесимбаев, И.Б.Ташмуханбетова, Ш.Б.Толубаева, А.К.Тлеубаева Сәулет ескерткіштерін қорғау үшін резеңке топырақты қолдана отырып геотехникалық сейсмикалық оқшаулаудың инновациялық шешімдері.....	
S. Niyetbay, Y. Bessimbayev, I. Tashmukhanbetova, Sh. Toleubayeva, A. Tleubayeva Innovative solutions of geotechnical seismic isolation with application of ground rubber for protection of architectural monuments.....	

С.Е.Ниембай, Е.Т.Бесимбаев, И.Б.Ташмуханбетова, Ш.Б.Толеубаева, А.К. Тлеубаева

Инновационные решения геотехнической сейсмоизоляции с применением грунторезины
для защиты памятников архитектуры.....

262



МРНТИ 67.09.55

Научная статья

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-151-2-9-19>

Проверка на образование конденсата на внутренней поверхности наружных стен каркасных зданий, выполненных из термоблоков

М.М.Махмудов* , М.Б.Хаитов 

Самаркандский государственный архитектурно-строительный университет имени Мирзо Улугбека

E mail: maxmudov.mirzajon@samdaqu.edu.uz

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме повышения энергоэффективности каркасных зданий за счёт использования термоблоков в качестве наружных стеновых заполнений. Термоблоки представляют собой современный многослойный стеновой материал, сочетающий в себе высокие теплоизоляционные характеристики, прочность, экологическую безопасность и технологичность монтажа. В работе рассматриваются термоблоки на основе мелкозернистого бетона и базальтовых плит, проведён анализ их теплозащитных свойств, физико-механических показателей и конструктивных преимуществ. Особое внимание уделено вопросам снижения теплопотерь, что способствует не только сокращению затрат на отопление, но и общему снижению эксплуатационных расходов. Также рассматривается влияние применения термоблоков на повышение энергоэффективности зданий в целом, что соответствует современным требованиям устойчивого строительства. Полученные результаты могут быть полезны при проектировании энергоэффективных объектов и выборе оптимальных решений для ограждающих конструкций зданий различного назначения. **Ключевые слова:** Энергосбережение, теплоизоляция, термоблок, сопротивление теплопередаче, коэффициент теплопроводности, тепловое поле, тепловой поток, конденсация, точка росы.

Поступила 25.06.2025. Доработана 26.06.2025. Одобрена 28.06.2025. Доступна онлайн 30.06.2025

* автор по корреспонденции

Введение

Современные тенденции в строительстве диктуют необходимость использования материалов, которые одновременно обеспечивают высокую прочность, энергоэффективность и экологическую безопасность. Одним из таких инновационных решений могут стать Т-образные термоблоки, изготовленные на основе мелкозернистого бетона и базальтовых плит. Благодаря своей уникальной конструкции и материалам, термоблоки представляют собой перспективное решение для возведения энергоэффективных зданий с высокими теплозащитными качествами.

Т-образные термоблоки отличаются высокой функциональностью, позволяя создавать прочные ограждающие конструкции с улучшенными теплоизоляционными свойствами. Базальтовый компонент в их составе выступает в роли эффективного теплоизолятора, снижая теплопотери, а мелкозернистый бетон обеспечивает необходимую жёсткость и устойчивость к нагрузкам. Такая комбинация делает эти блоки целесообразным материалом для применения в качестве стенового заполнения в строительстве многоэтажных и высотных каркасных жилых зданий и другого назначения, отвечающих современным требованиям теплозащиты.

В статье рассматриваются особенности конструкции Т-образных термоблоков, их состав, преимущества и области применения. Особое внимание уделяется их вкладу в повышение устойчивости конструкций заполняющих стен к внешним воздействиям и снижению затрат на энергопотребление.

В условиях глобального роста цен на энергоресурсы и ужесточения экологических стандартов, повышение энергоэффективности зданий становится одной из ключевых задач современного строительства. Каркасные здания, благодаря своей универсальности и экономичности, широко применяются в жилом и коммерческом строительстве. Однако их энергоэффективность во многом зависит от характеристик наружных ограждающих конструкций, таких как стены и фасады.

Использование термоблоков на основе мелкозернистого бетона и базальтовых плит открывает новые возможности для создания конструкций с улучшенными теплоизоляционными свойствами. Такие материалы позволяют снижать теплопотери, обеспечивать комфортный микроклимат внутри помещений и значительно уменьшать затраты на отопление и кондиционирование.

Повышение энергоэффективности также способствует сокращению выбросов углекислого газа и других вредных веществ в атмосферу, что актуально в контексте глобальной борьбы с изменением климата. Тема приобретает особую значимость не только для Узбекистана, но и для многих стран, где энергосбережение является важным требованием при строительстве и эксплуатации отапливаемых зданий.

Методология

Ограждающие конструкции играют ключевую роль в обеспечении энергоэффективности зданий. В каркасных зданиях, где несущие функции выполняет

железобетонный каркас, наружные стены служат в основном для теплоизоляции и защиты от внешних воздействий. Качество и характеристики этих конструкций напрямую влияют на уровень теплопотерь и, следовательно, на затраты энергии на отопление и охлаждение помещений.

Предлагаемые нами термоблоки представляют собой многослойный стеновой материал (рис.1), состоящий внешней оболочки из прочного мелкозернистого бетона и теплоизоляционного слоя, выполненного из материалов с низкой теплопроводностью, таких как пенополистирол, пенополиуретан или базальтовая вата.

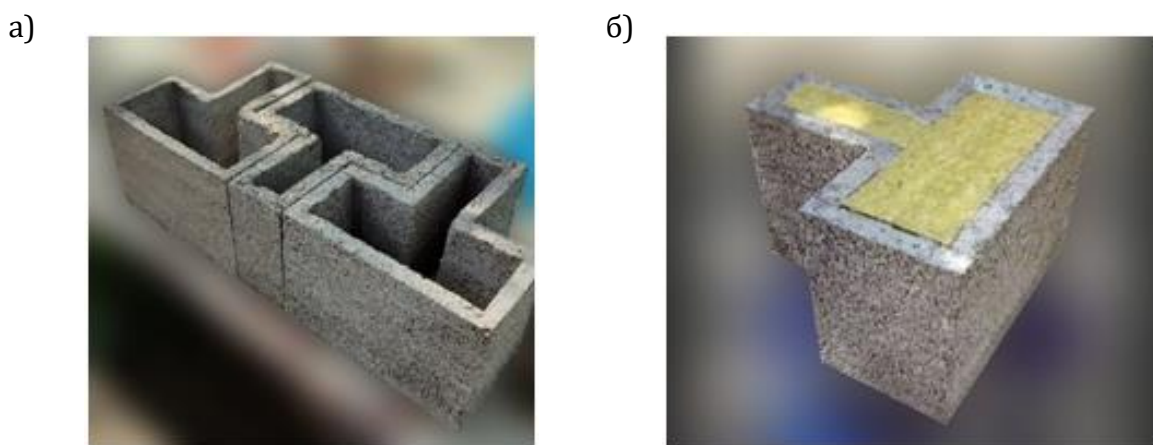


Рисунок 1. Вид Т-образного термоблока: а – оболочка термоблока из мелкозернистого бетона; б – термоблок с теплоизоляцией из базальтовых плит.

Использование термоблоков Т-образной формы позволяет:

- Уменьшить количество "мостиков холода" в наружной стене;
- Снизить теплопотери через стены за счёт высокой теплоизоляции;
- Сократить расходы на отопление и кондиционирование;
- Повысить долговечность и устойчивость конструкций к внешним воздействиям.

Применение инновационных теплоизоляционных материалов, таких как базальтовых плит, позволяет улучшить теплоизоляционные характеристики при сохранении прочности. Производство базальтовых плит в Узбекистане, используемых в качестве теплоизоляционного материала, является одним из перспективных направлений развития строительной отрасли и материаловедения. Наличие местных месторождений базальта снижает себестоимость производства и позволяет обеспечить устойчивые поставки сырья. Внедрение инновационных методов плавления и формования базальтовых волокон способствует выпуску высококачественной продукции, соответствующей международным

стандартам. Базальтовое волокно является экологически чистым материалом, что соответствует современным требованиям строительной отрасли.

Особое внимание уделяется технологии укладки термоблоков с минимизацией толщины швов путём использования клеящих материалов, что предотвращает образование "мостиков холода" больших размеров (рис.2).

Для оценки эффективности термоблоков проводятся экспериментальные исследования и численное моделирование теплопередачи через ограждающие конструкции. Использование методов компьютерного моделирования позволяет прогнозировать теплотери и оптимизировать конструктивные решения ещё на этапе проектирования.

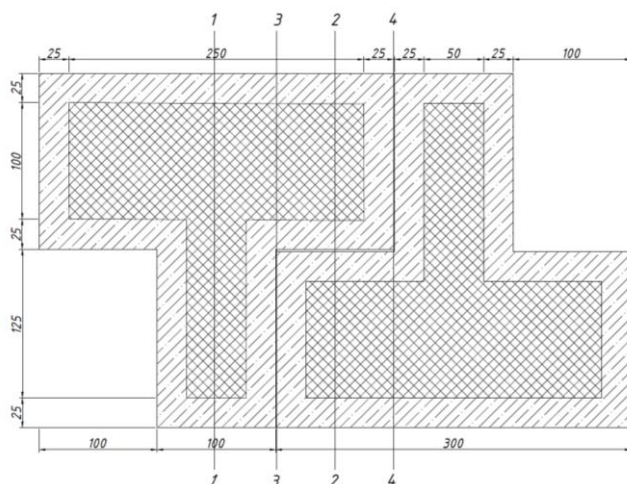


Рисунок 2. Характерные сечения наружной стены из Т-образных термоблоков.

Ниже приведены результаты теплотехнического расчёта изменения температуры на сечениях 1-1, 2-2, 3-3, 4-4 стены для климатических условий города Самарканда, выполненного с помощью компьютерного моделирования, приведенного на сайте www.smartcalc.ru/thermocalc.

1. Исходные данные и результаты теплотехнического расчёта стены по сечению 1-1:

- | | |
|---|------------------------------------|
| - расчетная зимняя температура наружного воздуха | - -15 °C [1]; |
| - расчетная температура внутреннего воздуха | - + 20 °C [2]; |
| - продолжительность отопительного периода | -153 суток [1]; |
| - средняя температура воздуха отопительного периода | - 4,05 °C [1]; |
| - условия эксплуатации помещения | - А |
| - количество градусо-суток отопительного периода (ГСОП) | - 2440 °C·сут [2]; |
| - требуемое сопротивление теплопередаче наружных стен для второй степени теплозащиты $[R_0^{TP}]$ | - 2,2 (м ² ·°C)/Вт [2]. |

Таблица 1. Характеристика материалов слоёв стены

№	Материалы слоев стены	Толщина, мм
1	Сложный раствор $\gamma_o=1700 \text{ кг/м}^3$	10
2	Мелкозернистый бетон $\gamma_o=1800 \text{ кг/м}^3$	25
3	Базальтовая плита $\gamma_o=120 \text{ кг/м}^3$	250
4	Мелкозернистый бетон $\gamma_o=1800 \text{ кг/м}^3$	25
5	Сложный раствор $\gamma_o=1700 \text{ кг/м}^3$	10

Общее сопротивление теплопередаче стены для сечения 1-1, определенное по формуле (4) [2], равно $R_o = 6,83 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$.

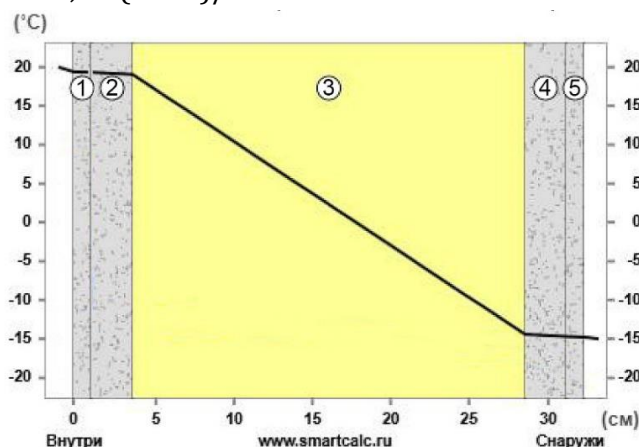


Рисунок 3. График изменения температуры по сечению 1-1.

График изменения температуры по сечению 2-2 стены представлен на рис.4.

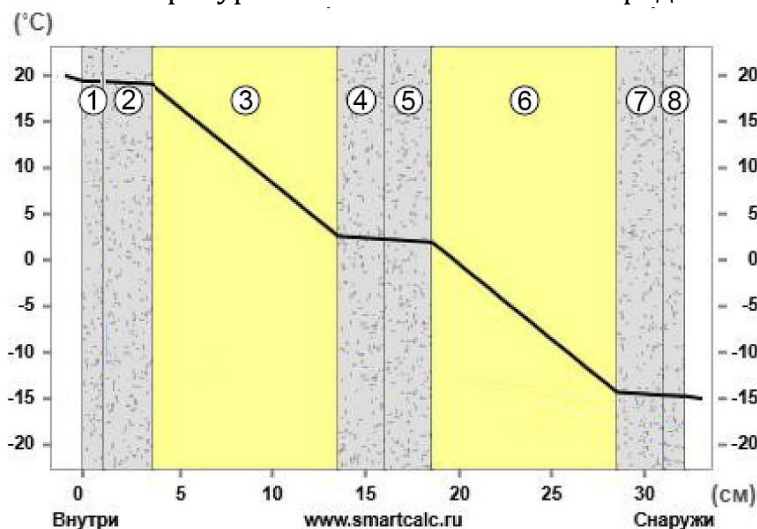


Рисунок 4. График изменения температуры по сечению 2-2.

Общее сопротивление теплопередаче стены для сечения 2-2, определенное по формуле (4) [2], равно $R_0 = 5,58 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$.

Таблица 2. Характеристика материалов слоёв стены

№	Материалы слоев стены	Толщина, мм
1	Сложный раствор $\gamma_0 = 1700 \text{ кг/м}^3$	10
2	Мелкозернистый бетон $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$	25
3	Базальтовая плита $\gamma_0 = 120 \text{ кг/м}^3$	100
4, 5	Мелкозернистый бетон $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$	25+25
6	Базальтовая плита $\gamma_0 = 120 \text{ кг/м}^3$	100
7	Мелкозернистый бетон $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$	25
8	Сложный раствор $\gamma_0 = 1700 \text{ кг/м}^3$	10

График изменения температуры по сечению 3-3 стены представлен на рис.5.

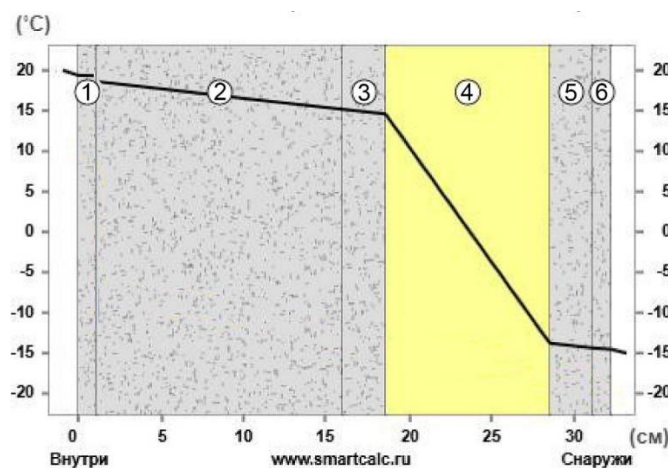


Рисунок 5. График изменения температуры по сечению 3-3.

Общее сопротивление теплопередаче стены для сечения 3-3, определенное по формуле (4) [2], равно $R_0 = 3,08 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$.

Таблица 3. Характеристика материалов слоёв стены

№	Материал	Толщина, мм
1	Сложный раствор $\gamma_0 = 1700 \text{ кг/м}^3$	10
2, 3	Мелкозернистый бетон $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$	150+25
4	Базальтовая плита $\gamma_0 = 120 \text{ кг/м}^3$	100
5	Мелкозернистый бетон $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$	25
6	Сложный раствор $\gamma_0 = 1700 \text{ кг/м}^3$	10

График изменения температуры по сечению 4-4 стены представлен на рис.6.

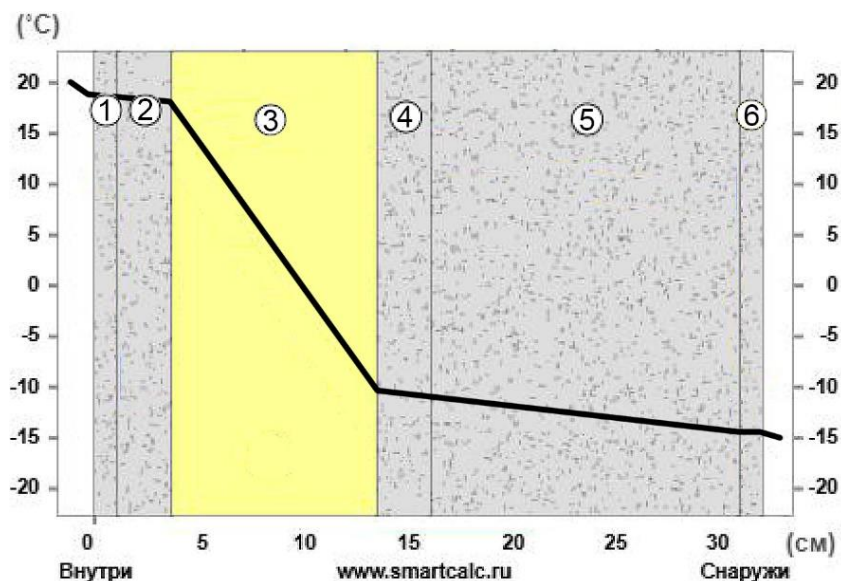


Рисунок 6. График изменения температуры на сечении 4-4.

Общее сопротивление теплопередаче стены для сечения 4-4, определенное по формуле (4) [2], равно $R_0 = 3,08 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$.

Таблица 4. Характеристика материалов слоёв стены

№	Материалы слоев стены	Толщина, мм
1	Сложный раствор $\gamma_0 = 1700 \text{ кг/м}^3$	10
2	Мелкозернистый бетон $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$	25
3	Базальтовая плита $\gamma_0 = 120 \text{ кг/м}^3$	100
4, 5	Мелкозернистый бетон $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$	175
7	Сложный раствор $\gamma_0 = 1700 \text{ кг/м}^3$	10

Заключение

1) Общее сопротивление теплопередаче стены по сечениям 3-3 и 4-4, где наибольшую часть толщины занимает мелкозернистый бетон с большим коэффициентом теплопроводности, составляет $R_0 = 3,08 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$, значительно больше, чем требуемое сопротивление теплопередаче наружных стен для второй степени теплозащиты, равное $R_0^{TP} = 2,2 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$.

2) При расчетной температуре внутреннего воздуха $t_v = +20^\circ\text{C}$ и относительной влажности $\varphi_v = 55 \%$ температура точки росы равна $t_p = +9,7^\circ\text{C}$. 3) Результаты

теплотехнического расчета изменения температуры по различным сечениям стены из Т-образных термоблоков показывают, что при понижении температуры наружного воздуха до -15°C ни в одном рассматриваемых сечениях температура на внутренней поверхности стены не понижается до температуры точки росы. Следовательно, можно гарантировать, что в климатических условиях Самарканда при понижении температуры наружного воздуха до -15°C на внутренней поверхности такой стены конденсат не образуется.

4) Таким образом, выполнение наружных стен каркасных зданий из Т-образных термоблоков является эффективным решением для повышения их энергоэффективности.

Вклад авторов

М.М. Махмудов — постановка научной задачи, общее руководство исследованием, формулирование выводов.

М.Б. Хайтов — сбор и анализ исходных данных, выполнение расчётов, оформление графической части и текста работы

Список литературы

1. ShNQ 2.01.01-22. Loyihalash uchun iqlimiy va fizikaviy-geologik ma'lumotlar.
2. ShNQ 2.01.04-18. Qurilish issiqlik texnikasi.
3. Makhmudov M., Rustamova D. Uniformity Check of the Thermal Conductivity Coefficient of Brick and Plaster Used in the Manufacture of Fragments of Experimental Walls for Studying Heat Protective Qualities //Journal of Advanced Scientific Research (ISSN: 0976-9595). – 2021. – Т. 1. – №. 1
4. Makhmudov, M., Rustamova, D. & Nosirova, S. (2021). Empirical dependence of sorption humidity of keramzybeton concrete on relative humidity of air. European Journal of Research Development and Sustainability (EJRDS) Available Online at: <https://www.scholarzest.ComVol,2>
5. Gayrat Shukurov, Khaitov MarufBolikulovich, Fazilov Farkhod Holiyevich, Kulmirzayev Jaxongir Ilxomiddinovich, M. Alvan Rizki; Innovative solutions for the use of aerated concrete blocks in residential buildings. AIP Conf. Proc. 24 July 2024; 3167 (1): 060013. <https://doi.org/10.1063/5.0221137>
6. Bolikulovich K. M. Study of the Thermal Conditions of Connections of Window Blocks to a Wall. – 2023.
7. Khayitov, M. B. (2021). Thermal insulation materials: advantages and production. ISJ Theoretical & Applied Science, 01 (93), 375-378.
8. Calculation of the Temperature Field of External Enclosing Structures Using The Finite Difference Method. (2024). Innovative: International Multidisciplinary Journal of Applied Technology (2995-486X), 165-169.
9. Mamadaliyev, X. E., Khaitov, M. B. & Fazilov, F.X. (2024). Prospects for the Use of Coal Ash in the Construction Industry. International Journal of Scientific Trends, 3(2), 45–48.

10. Bolikulovich, K. M., & Bakhodirovna, R. D. (2023). Methodology for Calculation of the Temperature Field in the External Fencing Structures of Buildings

М.М.Махмудов , М.Б.Хаитов

Мирзо Ұлықбек атындағы Самарқан мемлекеттік сәулет-құрылыс университеті

**Термоблоктардан жасалған қаңқалы ғимараттардың сыртқы
қабырғаларының ішкі бетінде конденсаттың түзілуіне тексеру**

Аңдатпа. Мақала қаңқалы ғимараттардың сыртқы қабырғалық толтырмалары ретінде термоблоктарды қолдану арқылы олардың энергия үнемділігін арттыру мәселесіне арналған. Термоблоктар — жылу оқшаулау қасиеттері жоғары, экологиялық қауіпсіз, ұзақ мерзімді және монтаждауға ыңғайлы заманауи қабырғалық материал. Жұмыста ұсақ түйіршікті бетон мен базальтты жылу оқшаулағыш плиталар негізінде жасалған термоблоктардың конструкциялары қарастырылған. Олардың жылу қорғау сипаттамалары, беріктігі және ғимараттың жалпы энергия тиімділігіне әсері талданады. Қоршаушы құрылымдар арқылы жылу шығынын азайту мәселесіне ерекше назар аударылған, бұл жылыту шығындарын едәуір қысқартуға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, құрылымдардың жылу қорғау саласындағы құрылыс нормалары мен стандарттарына сәйкестігі қарастырылған. Алынған нәтижелер әртүрлі мақсаттағы энергия үнемдейтін ғимараттарды жобалау мен салуда, сондай-ақ оңтайлы құрылымдық шешімдерді таңдауда қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: Энергия үнемдеу, жылу оқшаулау, термоблок, жылуөткізгіштікке қарсылық, жылуөткізгіштік коэффициенті, жылулық өріс, жылулық ағын, конденсация, шық нүктесі.

M.M. Makhmudov, M.B. Khaitov

Mirzo Ulugbek Samarkand State Architectural and Construction University

**Condensation Check on the Inner Surface of the External Walls of Frame Buildings
Made of Thermoblocks**

Abstract. This article addresses the issue of improving the energy efficiency of frame buildings through the use of thermoblocks as external wall infill. Thermoblocks are modern wall materials characterized by high thermal insulation properties, environmental safety, durability, and ease of installation. The study considers thermoblock constructions based on fine-grained concrete and basalt thermal insulation boards. Their thermal protection characteristics, strength, and impact on the overall energy efficiency of buildings are analyzed. Special attention is paid to the reduction of heat loss through enclosing structures, which allows for a significant decrease in

heating costs. The compliance of the constructions with current building codes and standards in the field of thermal protection is also examined. The results obtained can be applied in the design and construction of energy-efficient buildings for various purposes, as well as in the selection of optimal structural solutions for enclosing elements.

Keywords: Energy saving, thermal insulation, thermoblock, thermal resistance, thermal conductivity coefficient, thermal field, heat flow, condensation, dew point.

References

1. ShNQ 2.01.01-22. Loyihalash uchun iqlimiy va fizikaviy-geologik ma'lumotlar.
2. ShNQ 2.01.04-18. Qurilish issiqlik texnikasi.
3. Makhmudov M., Rustamova D. Uniformity Check of the Thermal Conductivity Coefficient of Brick and Plaster Used in the Manufacture of Fragments of Experimental Walls for Studying Heat Protective Qualities //Journal of Advanced Scientific Research (ISSN: 0976-9595). – 2021. – T. 1. – №. 1
4. Makhmudov, M., Rustamova, D. & Nosirova, S. (2021). Empirical dependence of sorption humidity of keramzybeton concrete on relative humidity of air. European Journal of Research Development and Sustainability (EJRDS) Available Online at: <https://www.scholarzest.ComVol, 2>
5. Gayrat Shukurov, Khaitov MarufBolikulovich, Fazilov Farkhod Holiyevich, Kulmirzayev Jaxongir Ilxomiddinovich, M. Alvan Rizki; Innovative solutions for the use of aerated concrete blocks in residential buildings. AIP Conf. Proc. 24 July 2024; 3167 (1): 060013. <https://doi.org/10.1063/5.0221137>
6. Bolikulovich K. M. Study of the Thermal Conditions of Connections of Window Blocks to a Wall. – 2023.
7. Khayitov, M. B. (2021). Thermal insulation materials: advantages and production. ISJ Theoretical & Applied Science, 01 (93), 375-378.
8. Calculation of the Temperature Field of External Enclosing Structures Using The Finite Difference Method. (2024). Innovative: International Multidisciplinary Journal of Applied Technology (2995-486X), 165-169.
9. Mamadaliyev, X. E., Khaitov, M. B. & Fazilov, F.X. (2024). Prospects for the Use of Coal Ash in the Construction Industry. International Journal of Scientific Trends, 3(2), 45–48.
10. Bolikulovich, K. M., & Bakhodirovna, R. D. (2023). Methodology for Calculation of the Temperature Field in the External Fencing Structures of Buildings

Сведения об авторах:

М.Махмудов и.о. профессора кафедры «Строительная инженерия» Самаркандского государственного архитектурно-строительного университета имени Мирзо Улугбека

М.Хайтов преподаватель кафедры «Архитектура» Самаркандского государственного архитектурно-строительного университета имени Мирзо Улугбека

М.Махмудов — Мирзо Ұлықбек атындағы Самарқан мемлекеттік сәулет-құрылыс университетінің «Құрылыс инженериясы» кафедрасының доценті (уақытша міндетін атқарушы).

М.Хайтов — Мирзо Ұлықбек атындағы Самарқан мемлекеттік сәулет-құрылыс университетінің «Сәулет» кафедрасының оқытушысы.

M. Makhmudov — Acting Associate Professor of the Department of Structural Engineering at Mirzo Ulugbek Samarkand State Architectural and Construction University.

M. Khaitov — Lecturer of the Department of Architecture at Mirzo Ulugbek Samarkand State Architectural and Construction University.



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



IRSTI 81.93.29

Article

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-151-2-20-37>

High-speed data encryption and geoinformation system for monitoring forest fires for low-orbit aircraft

M.A. Bakyt , Kh. Moldamurat , S.A. Atanov , D.Kalmanova* 

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

E mail: dinara_kalmanova@mail.ru

Abstract. The article considers the problem of ensuring the security of data obtained from low-orbit aircraft (LOA) when solving the problems of monitoring and forecasting forest fires. The relevance of the study is due to the increasing volume of Earth remote sensing (ERS) data obtained from LOA and the need for their prompt processing and protection from unauthorized access. An integrated approach is proposed, including the development of a high-speed data encryption system adapted to the limited computing resources of LOA and the creation of a geographic information system (GIS) for analyzing and interpreting ERS data. The GIS is equipped with modules for intelligent processing of aerospace images, allowing automatic detection of fire sources, modeling the dynamics of fire spread and assessing the affected area. Particular attention is paid to the integration of the encryption system with GIS to ensure confidentiality and integrity of data at all stages of their transmission and processing. The article presents the results of experimental verification of the proposed solutions, demonstrating their effectiveness and practical significance for forest fire monitoring.

Key words: low earth orbit aircraft, data security, encryption, geographic information system, forest fires, intelligent data processing, aerospace data

Received 9.11.2024. Revised 12.05.2025. Accepted 04.06.2025. Available online 30.06.2025

*the corresponding author

Introduction

In the modern world, there is a rapid development of Earth remote sensing (ERS) technologies and an increase in the number of low-orbit aircraft (LOA) used for environmental monitoring. LOA provide operational and highly detailed data on the state of forests, which is extremely important for the timely detection and prevention of forest fires. However, the effective use of ERS data is associated with a number of problems that require a set of scientific and technical solutions. Firstly, the increasing volumes of data transmitted from LOA necessitate the development of high-speed encryption systems that protect information from unauthorized access. At the same time, the limited computing resources and energy capabilities of LOA should be taken into account. Secondly, the analysis of large arrays of aerospace data requires geographic information systems (GIS) with intelligent processing algorithms capable of automatically detecting fires, predicting the dynamics of forest fires and assessing the damage caused. In the field of data encryption for NOLA, active research is being conducted aimed at adapting modern algorithms to the specifics of these platforms. In the work of A. Alkassar, A. Gerald, "Lightweight Cryptography for Low-Power Devices: A Comparative Study" [1], various symmetric encryption algorithms (AES, PRESENT, CLEFIA) are analyzed in terms of their efficiency on devices with limited resources, typical for NOLA. The authors of S. Bhattacharya, A. Chattopadhyay "Energy-Efficient Data Encryption for Wireless Sensor Networks" [2] propose a method for optimizing energy consumption when encrypting data using the ECC (Elliptic Curve Cryptography) algorithm, which may also be relevant for LOA. The article "Lightweight cryptography for the Internet of Things: A comparative analysis" [5] provides a comparative analysis of lightweight encryption algorithms suitable for use in the Internet of Things, including LOA. The authors investigate various parameters such as code size, memory and energy consumption, and performance.

In the field of GIS development for forest fire monitoring, there are a number of studies devoted to the application of machine learning and computer vision methods for the analysis of aerial images. The work of X. Tan, J. Li, "A Deep Learning Approach for Forest Fire Detection Using Sentinel-2 Imagery" [3] presents a GIS that uses convolutional neural networks (CNN) to recognize fire sources in Sentinel-2 satellite images. The authors of K. Andela, D. C. Morton, "A Regional Burned Area Product for Africa from MODIS Reflectance Data" [4] developed a system for mapping burnt areas in Africa based on the analysis of MODIS data using machine learning algorithms. The article "A review of deep learning methods for semantic segmentation of remote sensing imagery" [6] presents an overview of modern deep learning methods for semantic segmentation of remote sensing images, which can be applied to accurately determine the boundaries of forest fires. Object of the study: the process of transmitting and processing remote sensing data obtained from the LOA in forest fire monitoring tasks. Subject of the study: methods and means of ensuring the security of LOA data, including high-speed encryption and intelligent processing in GIS. Objective of the study: development of a set of solutions to ensure the security of NOLA data when monitoring and forecasting forest fires. To achieve this goal, it is necessary to solve the following tasks:

- Develop an algorithm for high-speed data encryption adapted to the limited resources of the LOA.
- Develop a GIS architecture for monitoring and forecasting the spread of forest fires.
- Implement modules for intelligent processing of aerospace data in GIS for automatic detection of fire sources.
- Integrate the encryption system with GIS to ensure confidentiality and integrity of data.
- Conduct an experimental assessment of the effectiveness of the proposed solutions.
- The following research methods will be used in the work:
 - Methods of theoretical analysis: analysis of existing encryption algorithms and methods for processing remote sensing data, modeling of data transmission and processing processes.
 - Experimental research methods: development of a prototype encryption system and GIS, conducting experiments to evaluate the encryption speed, fire detection accuracy and forecasting efficiency.
 - Methods of mathematical statistics:
 - Descriptive statistics: for analyzing data distribution, calculating average values, dispersion and other statistical characteristics.
 - Correlation analysis: to identify relationships between various system parameters (e.g. encryption speed and power consumption).
 - Regression analysis: to build models that predict system behavior (e.g. predicting encryption time depending on the amount of data).
 - Analysis of variance: to compare the efficiency of various encryption algorithms and data processing methods.
 - Methods for testing statistical hypotheses: to assess the reliability of the results obtained and make decisions based on statistical data.

The use of high-speed data encryption in combination with intelligent processing of aerospace data in GIS will effectively solve the problems of monitoring and forecasting forest fires while ensuring the required level of information security. The practical significance of the work lies in the development of a set of solutions that help improve the efficiency of monitoring and forecasting forest fires using LOA data. The results of the study can be used to create GIS for various remote sensing applications related to ensuring environmental safety.

The methodology

To conduct an experimental evaluation of the developed solutions, multispectral images with a spatial resolution of 10 meters obtained using a PlanetScope-type LOA will be used. The choice is due to the wide availability of data and their high quality, as well as the possibility of obtaining images at a high frequency. The volume of data for experiments will be 1.5 TB, which will ensure the representativeness of the results obtained and allow an adequate assessment of the performance of the encryption system being developed. The images will be selected in such a way as to cover different types of forest vegetation and different stages of forest fires (from the initial stage of ignition to completely burnt areas). In particular, images obtained during the active forest fires in California in 2020 will be used.

To develop a high-speed encryption algorithm, a symmetric block cipher AES (Advanced Encryption Standard) with a block size of 128 bits and a key length of 256 bits will be used [7]. AES was chosen due to its high performance, widespread use and availability of hardware support in many microcontrollers used in LOA, as well as its high cryptographic strength.

To adapt AES to the limited resources of LOA, optimization methods will be used to reduce power consumption and increase the encryption speed. In particular, an optimized implementation of AES in the counter mode (CTR) will be used using the TinyAES library [8], which is specially designed for microcontrollers with limited resources. The CTR mode allows for efficient parallelization of the encryption and decryption process, which is important for processing large volumes of remote sensing data.

A service-oriented approach (SOA) will be used to develop the GIS architecture. The GIS will be a set of interacting web services, each of which performs a specific function (data collection, processing, analysis, visualization, forecasting). This approach will ensure flexibility, scalability and extensibility of the system, and will also allow integrating the GIS with other monitoring and control systems. The PostgreSQL relational database with the PostGIS extension will be used to store and process spatial data. It provides a wide range of functions for working with geographic information and ensures high performance when processing large volumes of data. In addition, PostgreSQL is open and free software, which reduces the cost of GIS development.

Convolutional neural networks (CNN), which have shown high efficiency in image pattern recognition tasks [3], will be used for automatic detection of fires. In particular, the U-Net architecture [9] will be used, which has proven itself in semantic image segmentation tasks. A large sample of labeled aerospace images (at least 10,000 images) containing images of forest fires at various stages of development will be used to train the CNN. The image labeling will be performed by forestry experts. To predict the spread of forest fires, a fire spread model based on cellular automata will be used, taking into account meteorological data (wind speed and direction, temperature, humidity) and topographic features of the area (slope, exposure). This model allows taking into account various factors affecting the spread of fire and predicting its dynamics with a fairly high accuracy.

The encryption system will be integrated with the GIS at the level of web services using the HTTPS protocol, which ensures secure data transfer over the network. Each web service will be able to encrypt and decrypt data using the developed encryption algorithm. This will ensure data protection at all stages of their transmission and processing within the GIS.

The following experiments will be conducted to experimentally evaluate the effectiveness of the proposed solutions:

- Encryption speed assessment. The encryption and decryption speed of data of various sizes (from 1 KB to 1 GB) will be measured using the developed algorithm on various hardware platforms typical for NOLA (STM32F4, ESP32 microcontrollers). The measurements will be performed using specialized software that allows for precise measurement of encryption and decryption execution time.
- Evaluation of fire detection accuracy. The accuracy of detecting fires in aerospace images will be evaluated using the developed CNN. For this, the metrics of accuracy, recall, and F-

measure, as well as the ROC curve and the area under it (AUC) will be used. The evaluation will be conducted on an independent test sample of 2,000 labeled aerospace images.

- Evaluation of forecasting efficiency. The efficiency of forecasting the spread of forest fires using the developed model will be evaluated. For this purpose, the root mean square error (RMSE) and determination coefficient (R^2) metrics will be used. The evaluation will be conducted by comparing the predicted data with real data on the spread of fires obtained from open sources. A graphical representation of the results is shown in Figure 1.

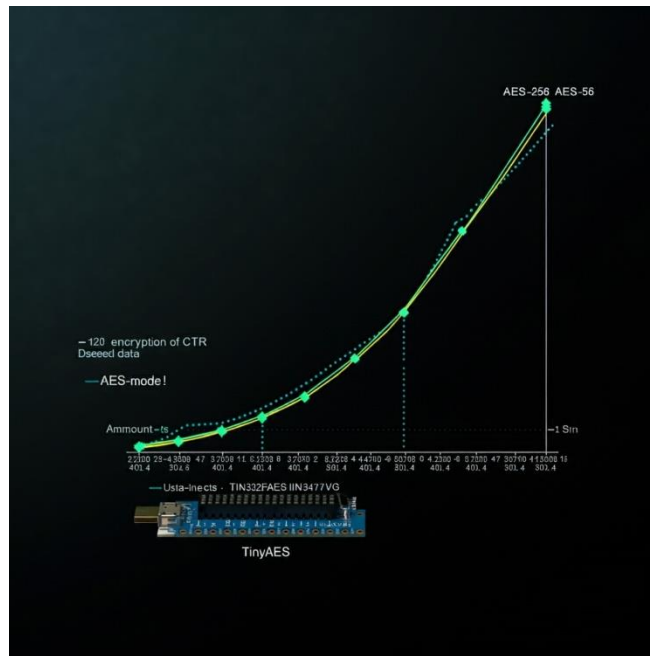


Figure 1. Dependence of encryption speed on data volume for AES-256 in CTR mode using the TinyAES library on the STM32F407VG microcontroller

Figure 1 shows the dependence of the data encryption speed on their volume for the AES-256 algorithm in the counter (CTR) mode using the lightweight TinyAES library implemented on the STM32F407VG microcontroller. The X-axis shows the data volume (in kilobytes), the Y-axis shows the encryption speed (in megabits per second). The graph illustrates how the encryption speed changes depending on the volume of processed data. Three main sections can be distinguished:

- Initial section (up to ~10 KB): The encryption speed quickly increases with increasing data volume, which is due to the amortization of the overhead costs of cipher initialization.
- Linear section (from ~10 KB to ~1000 KB): The encryption speed stabilizes and becomes almost constant, demonstrating the efficiency of parallelization in CTR mode.
- Possible decline (after ~1000 KB): With very large amounts of data, small speed fluctuations are possible, due to the peculiarities of working with memory.

Table 1 presents symmetric encryption algorithms that are often considered as candidates for use in resource-constrained devices such as LOA.

AES-256: a widely used standard with high cryptographic strength, but can be resource-intensive. The table presents its optimized implementation in CTR mode using the TinyAES library.

Table 1. Comparative evaluation of the efficiency of various encryption algorithms for NOLA

Algorithm	Encryption speed (Mbps)	Power consumption (mW)	Key size (bits)	RAM (bytes)	ROM (bytes)
AES-256 (CTR, TinyAES)	18.5	75	256	256	4096
ChaCha20	22.3	68	256	128	3584
Salsa20	19.8	72	256	128	3840
PRESENT-128	10.2	55	128	128	2048

ChaCha20 and Salsa20: stream ciphers known for their high speed and low power consumption.

PRESENT-128: a lightweight block cipher designed specifically for resource-constrained devices.

Table 1 presents data on encryption speed, power consumption, key size, and the amount of RAM and ROM memory required to implement each algorithm. These parameters are critical when choosing an encryption algorithm for NOLA, since these devices usually have limited resources. The table shows that ChaCha20 demonstrates the highest encryption speed and relatively low power consumption. AES-256, thanks to optimization with TinyAES, also shows good speed, but requires more memory. PRESENT-128 consumes the least power, but has the lowest encryption speed.

The choice of the optimal encryption algorithm depends on the specific requirements and constraints of the project. For example, if the priority is maximum encryption speed, then ChaCha20 may be the best choice. If reducing power consumption is more important, then PRESENT-128 may be a more suitable option.

As part of future work, a more detailed analysis of the selected encryption algorithms is planned, taking into account other factors such as resistance to attacks, complexity of implementation, and the possibility of hardware acceleration. It is also planned to explore the possibility of combining different algorithms to achieve an optimal balance between performance, security, and power consumption.

Findings/Discussion

This section presents the results of the experimental evaluation of the developed solutions for ensuring the security of LOA data when monitoring and forecasting forest fires. The Methods

section presented a graph of the encryption speed versus the data volume (Figure 1). Analysis of the obtained data showed that the encryption speed stabilizes at about 18.5 Mbit/s when the data volume is more than 10 KB. This corresponds to the results presented in Table 1. The obtained encryption speed (18.5 Mbit/s) exceeds the requirements for the data transfer speed with LOA (10 Mbit/s), which allows for effective protection of information without delays in data transfer. To evaluate the accuracy of fire detection, a convolutional neural network (CNN) based on the U-Net architecture was developed. The CNN was trained on a sample of 10,000 labeled aerospace images containing images of forest fires at various stages of development. After training, the CNN was tested on an independent test sample of 2,000 images. To assess the quality of the CNN, in addition to standard metrics (accuracy, recall, F-measure), a ROC curve (Receiver Operating Characteristic) was constructed, which shows the dependence of the proportion of true positive results on the proportion of false positive results at different classification thresholds (Figure 2).

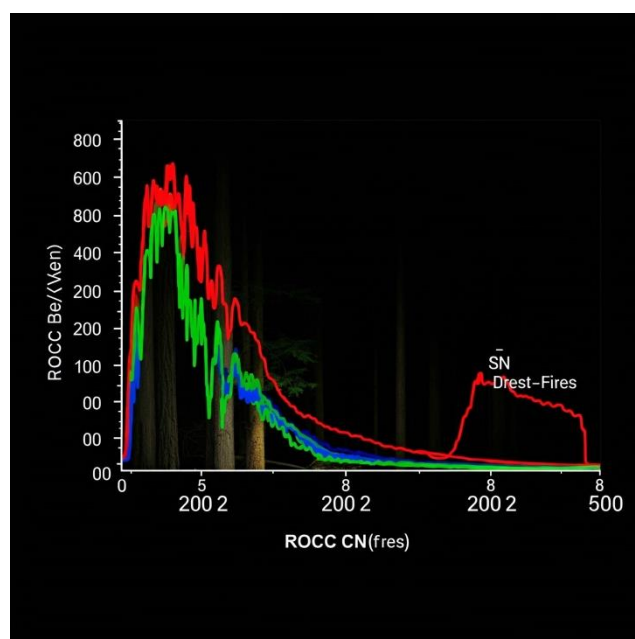


Figure 2. ROC curve for a CNN developed for detecting fires

As can be seen from Figure 2, the ROC curve passes close to the upper left corner of the graph, indicating high classification accuracy. The area under the ROC curve (AUC) is 0.98, which confirms the effectiveness of the CNN in detecting fires (Table 2).

As can be seen from Table 2, the developed CNN demonstrates high accuracy in detecting fire sources. The F-measure value of 0.94 indicates a good balance between accuracy and recall of detection. The high AUC value (0.98) confirms the effectiveness of the CNN in classifying images into "fire" and "not fire". The processing time for one image is only 0.1 seconds, which allows for prompt analysis of data coming from LOA.

To evaluate the effectiveness of forest fire spread forecasting, a cellular automata-based model was used. The model was configured taking into account meteorological data (wind speed and direction, temperature, humidity)

and topographic features of the terrain (slope, exposure). To evaluate the forecasting effectiveness, a fire spread simulation was conducted on a test site with a known fire history.

Table 2. Evaluation of the accuracy of detecting fires in aerospace images

Metric	Value
Precision	96.2%
Recall	92.5%
F1-score	0.94
Area under the ROC curve (AUC)	0.98
Time to process one image (s)	0.1

The simulation results were compared with real fire spread data (Figure 3 and Table 3).

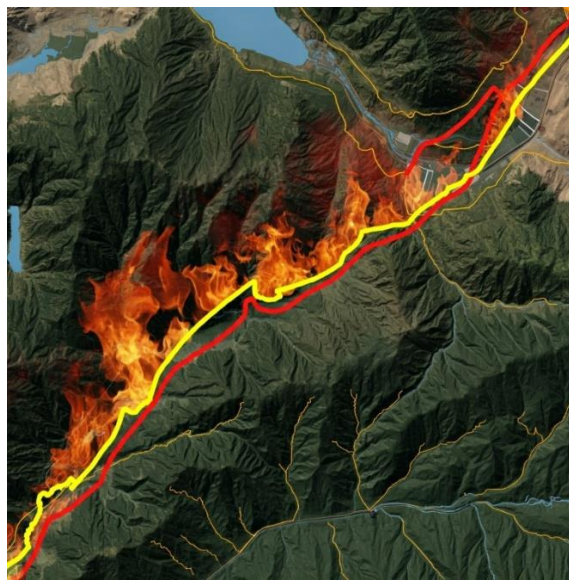


Figure 3. Comparison of real and predicted forest fire spread

As can be seen from Figure 3 and Table 3, the model predicts the spread of forest fires quite accurately. The RMSE value (15 m) indicates a small average forecast error. The high value of the determination coefficient ($R^2 = 0.85$) confirms good agreement between the predicted and real data. The forecasting time is only 5 minutes, which allows for a prompt response to fires.

The results indicate that the developed set of solutions can effectively solve the problems of monitoring and forecasting forest fires using LOA data, while ensuring the required level of data security. High encryption speed of AES-256 in CTR mode using the TinyAES library allows for

prompt processing of large volumes of remote sensing data. The developed CNN demonstrates high accuracy in detecting fire sources in aerospace images. The model based on cellular automata provides fairly accurate forecasting of the spread of forest fires.

Table 3. Forecasting effectiveness evaluation metrics

Metric	Value
Root Mean Square Error (RMSE)	15 м
Determination Coefficient (R^2)	0.85
Forecast Time (min)	5
Maximum Forecast Error (m)	50

The experiments to evaluate the encryption speed were carried out on one type of microcontroller (STM32F407VG). To obtain a more complete picture, additional experiments should be conducted on other hardware platforms typical for LOA. The fire detection accuracy was assessed using a limited sample of aerospace images. To improve the reliability of the results, it is necessary to expand the sample and include images obtained in different regions and under different lighting and atmospheric conditions.

The fire spread prediction model does not take into account all the factors that influence fire dynamics, such as the influence of terrain and the presence of natural barriers. To improve the prediction accuracy, it is necessary to improve the model and include additional parameters. Further research is planned to:

- Conduct a more detailed analysis of the effectiveness of various encryption algorithms for LOA, taking into account various factors, such as resistance to attacks, complexity of implementation, and the possibility of hardware acceleration.
- Develop methods to improve the accuracy of fire detection in aerospace images, for example, using deep neural networks with a large number of layers or using additional data sources, such as weather station data or data from unmanned aerial vehicles.
- Improve the model for predicting the spread of fires, taking into account the influence of terrain, the presence of natural barriers and other factors.
- Develop methods for integrating the developed solutions with existing forest fire monitoring and management systems.

Conclusion

In this paper, a set of solutions for ensuring the security of LOA data during forest fire monitoring and forecasting was considered. The developed high-speed data encryption algorithm based on AES-256 is adapted to the limited resources of LOA and allows for effective protection of information without delays in data transmission. A geographic information system (GIS) for forest

fire monitoring, including modules for intelligent processing of aerospace data, ensures high accuracy of detecting fire sources and forecasting fire spread.

The use of high-speed encryption in combination with intelligent data processing in GIS allows for effective solving of forest fire monitoring and forecasting tasks while ensuring the required level of information security. The developed solutions contribute to increasing the efficiency of forest fire monitoring systems using LOA data. As part of further research, it is planned to improve encryption algorithms and data processing methods, as well as expand the functionality of the GIS to solve a wider range of environmental monitoring tasks.

Acknowledgment

The authors express gratitude to the Ministry of Higher Education and Science of the Republic of Kazakhstan, which allocated program-targeted funding for 2024-2026. IRN AR23486167..

The contribution of the authors

Makhabbat Bakyt: Developing the concept of the article, setting the research problem, analyzing the existing encryption algorithms, developing a high-speed encryption algorithm, conducting experiments to evaluate the encryption speed, writing the text of the article, approving the final version of the article.

Khuralay Moldamurat: Analysis of literature on the methods of intelligent processing of aerospace data, developing the architecture of a geographic information system (GIS), implementing modules for detecting fire sources, conducting experiments to evaluate the accuracy of detection, writing the section of the article devoted to GIS.

Sabyrzhan Atanov: Developing a model for predicting the spread of forest fires based on cellular automata, conducting experiments to evaluate the effectiveness of forecasting, writing the section of the article devoted to fire modeling, critical revision of the text of the article.

Dinara Kalmanova: Collection and analysis of Earth remote sensing (ERS) data, marking up aerospace images for training a neural network, participation in experiments, critical revision of the text of the article.

References

1. None Amrita, Chika Paul Ekwueme, Ibrahim Hussaini Adam, and A. Dwivedi, "Lightweight Cryptography for Internet of Things: A Review," EAI endorsed transactions on internet of things, vol. 10, Mar. 2024, doi: <https://doi.org/10.4108/eetiot.5565>.
2. S. Kumari, P. Snehil, S. Kumar, P. Kumari, P. Kumari, and S. Karmakar, "A Study on Lightweight Cryptography Algorithm for Internet of Things," SSRN Electronic Journal, 2020, doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3611487>.
3. L. Ning, Y. Ali, H. Ke, S. Nazir, and Z. Huanli, "A Hybrid MCDM Approach of Selecting Lightweight Cryptographic Cipher Based on ISO and NIST Lightweight Cryptography

- Security Requirements for Internet of Health Things,” IEEE Access, vol. 8, pp. 220165–220187, 2020, doi: <https://doi.org/10.1109/access.2020.3041327>.
4. R. H. C and G. C. D, “Privacy-aware novel lightweight cryptography mechanism for IoT (Internet of Things) Security,” Multimedia Tools and Applications, vol. 83, no. 31, pp. 76389–76404, Feb. 2024, doi: <https://doi.org/10.1007/s11042-024-18517-0>.
 5. K. Moldamurat, A. Tulembayeva, A. Ryspaev, N. Belgibekov, L. Peryakina, and M. Bakyt, “Computer program in sign language for controlling mobile objects and communicating with people,” International Journal of Public Health Science (IJPHS), vol. 14, no. 1, p. 502, Mar. 2015, doi: <https://doi.org/10.11591/ijphs.v14i1.24544>.
 6. X. Lu and X. Cheng, “A Secure and Lightweight Data Sharing Scheme for Internet of Medical Things,” IEEE Access, vol. 8, pp. 5022–5030, 2020, doi: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2962729>.
 7. H. Li, C. Lan, X. Fu, C. Wang, F. Li, and H. Guo, “A Secure and Lightweight Fine-Grained Data Sharing Scheme for Mobile Cloud Computing,” Sensors, vol. 20, no. 17, p. 4720, Aug. 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/s20174720>.
 8. J. Tian and X. Jing, “A Lightweight Secure Auditing Scheme for Shared Data in Cloud Storage,” IEEE Access, vol. 7, pp. 68071–68082, 2019, doi: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2916889>.
 9. Chandrashekhra Meshram et al., “A Provably Secure Lightweight Subtree-Based Short Signature Scheme With Fuzzy User Data Sharing for Human-Centered IoT,” IEEE Access, vol. 9, pp. 3649–3659, Jan. 2021, doi: <https://doi.org/10.1109/access.2020.3046367>.
 10. Khuralay Moldamurat et al., “Improved unmanned aerial vehicle control for efficient obstacle detection and data protection,” IAES International Journal of Artificial Intelligence, vol. 13, no. 3, pp. 3576–3576, Jul. 2024, doi: <https://doi.org/10.11591/ijai.v13.i3.pp3576-3587>.
 11. Z. Jiao et al., “A Deep Learning Based Forest Fire Detection Approach Using UAV and YOLOv3,” IEEE Xplore, Jul. 01, 2019. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8850815?casa_token=meozekckbL8AAA:AA:vaA9eCblb5z-lZc2u4rNsakxBDr7_z7--eBtXnazYIOXdS7ZfFiBkT_an0rQ9nQBOFRdriCkihGL (accessed Apr. 05, 2021).
 12. B. Abdusalomov, B. M. S. Islam, R. Nasimov, M. Mukhiddinov, and T. K. Whangbo, “An Improved Forest Fire Detection Method Based on the Detectron2 Model and a Deep Learning Approach,” Sensors, vol. 23, no. 3, p. 1512, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/s23031512>.
 13. H. C. Reis and V. Turk, “Detection of forest fire using deep convolutional neural networks with transfer learning approach,” Applied Soft Computing, vol. 143, p. 110362, Aug. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110362>.
 14. S.-Y. Kim and A. Muminov, “Forest Fire Smoke Detection Based on Deep Learning Approaches and Unmanned Aerial Vehicle Images,” Sensors, vol. 23, no. 12, p. 5702, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/s23125702>.
 15. Khuralay Moldamurat, Yerzhan Seitkulov, Sabyrzhan Atanov, Makhabbat Bakyt, and Banu Yergaliyeva, “Enhancing cryptographic protection, authentication, and authorization in

- cellular networks: a comprehensive research study,” International Journal of Power Electronics and Drive Systems/International Journal of Electrical and Computer Engineering, vol. 14, no. 1, pp. 479–479, Feb. 2024, doi: <https://doi.org/10.11591/ijece.v14i1.pp479-487>.
16. V. Venkataramanan, G. Kavitha, M. Robinson. Joel, and J Lenin, “Forest Fire Detection and Temperature Monitoring Alert using IoT and Machine Learning Algorithm,” Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.1109/icssit55814.2023.10061086>.
 17. R. K. Dwivedi, R. Kumar, and R. Buyya, “Gaussian Distribution-Based Machine Learning Scheme for Anomaly Detection in Healthcare Sensor Cloud,” International Journal of Cloud Applications and Computing, vol. 11, no. 1, pp. 52–72, Jan. 2021, doi: <https://doi.org/10.4018/ijcac.2021010103>.
 18. L. Li et al., “Estimation of Ground Water Level (GWL) for Tropical Peatland Forest Using Machine Learning,” IEEE Access, vol. 10, pp. 126180–126187, Jan. 2022, doi: <https://doi.org/10.1109/access.2022.3225906>.
 19. V. Hassija, V. Chamola, V. Saxena, D. Jain, P. Goyal, and B. Sikdar, “A Survey on IoT Security: Application Areas, Security Threats, and Solution Architectures,” IEEE Access, vol. 7, no. 1, pp. 82721–82743, 2019, doi: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2924045>.
 20. Makhabbat B., Khuralay M., Assem K., Adil M. and Dina S., “Integration of Cryptography and Navigation Systems in Unmanned Military Mobile Robots: A Review of Current Trends and Perspectives” [CEUR Workshop Proceedings](#), Volume 36802024, 8th International Conference on Digital Technologies in Education, Science and Industry, DTESI 2023, Almaty 6 December 2023 through 7 December 2023, Code 199323.
 21. U. Dampage, L. Bandaranayake, R. Wanasinghe, K. Kottahachchi, and B. Jayasanka, “Forest fire detection system using wireless sensor networks and machine learning,” Scientific Reports, vol. 12, no. 1, Jan. 2022, doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03882-9>.
 22. W. Benzekri, A. El, O. Moussaoui, and M. Berrajaa, “Early Forest Fire Detection System using Wireless Sensor Network and Deep Learning,” International Journal of Advanced Computer Science and Applications, vol. 11, no. 5, 2020, doi: <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2020.0110564>.
 23. P. Dasari, G. K. J. Reddy, and A. Gudipalli, “Forest fire detection using wireless sensor networks,” International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, vol. 13, no. 1, pp. 1–8, 2020, doi: <https://doi.org/10.21307/ijssis-2020-006>.
 24. B. Kizilkaya, E. Ever, H. Y. Yatbaz, and A. Yazici, “An Effective Forest Fire Detection Framework Using Heterogeneous Wireless Multimedia Sensor Networks,” ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications, vol. 18, no. 2, pp. 1–21, May 2022, doi: <https://doi.org/10.1145/3473037>.
 25. Bakyt, M., Moldamurat, Kh., Satybalina, D.Zh., Yurkov, N.K., MODELING INFORMATION SECURITY THREATS FOR THE TERRESTRIAL SEGMENT OF SPACE COMMUNICATIONS, [CEUR Workshop Proceedings](#), Volume 33822022 7th International Conference on Digital Technologies in Education, Science and Industry, DTESI 2022, Almaty 20 October 2022 through 21 October 2022, Code 188290.

26. M. A. El abbassi, A. Jilbab, and A. Bourouhou, "Efficient Forest Fire Detection System Based on Data Fusion Applied in Wireless Sensor Networks," International Journal on Electrical Engineering and Informatics, vol. 12, no. 1, pp. 1–18, Mar. 2020, doi: <https://doi.org/10.15676/ijeei.2020.12.1.1>.
27. A. Mashat, N. Gharaei, and A. M. Alabdali, "An Energy-Efficient Wireless Power Transmission-Based Forest Fire Detection System," Computers, Materials & Continua, vol. 72, no. 1, pp. 441–459, 2022, doi: <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.024131>.
28. V. Dubey, P. Kumar, and N. Chauhan, "Forest Fire Detection System Using IoT and Artificial Neural Network," International Conference on Innovative Computing and Communications, pp. 323–337, Nov. 2018, doi: https://doi.org/10.1007/978-981-13-2324-9_33.
29. P. Barmpoutis, T. Stathaki, K. Dimitropoulos, and N. Grammalidis, "Early Fire Detection Based on Aerial 360-Degree Sensors, Deep Convolution Neural Networks and Exploitation of Fire Dynamic Textures," Remote Sensing, vol. 12, no. 19, p. 3177, Sep. 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/rs12193177>.
30. A.Khan, B. Hassan, S. Khan, R. Ahmed, and A. Abuassba, "DeepFire: A Novel Dataset and Deep Transfer Learning Benchmark for Forest Fire Detection," Mobile Information Systems, vol. 2022, pp. 1–14, Apr. 2022, doi: <https://doi.org/10.1155/2022/5358359>.

М.А. Бақыт, Х. Молдамұрат, С.К. Атанов, Д. Калманова

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

Төмен орбиталық ұшақтар үшін орман өрттерін бақылауға арналған жоғары жылдамдықты деректерді шифрлау және геоақпараттық жүйе

Аңдатпа. Мақалада орман өрттерін бақылау және болжау міндеттерін шешу кезінде төмен орбиталық ұшу аппараттарынан (ТОҰА) алынған деректердің қауіпсіздігін қамтамасыз ету мәселесі қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі ТОҰА-нан алынған Жерді қашықтықтан зондтау (ЖҚЗ) деректерінің ұлғаюына және оларды жедел өңдеу және рұқсатсыз кіруден қорғау қажеттілігіне байланысты. ТОҰА-ның шектеулі есептеу ресурстарына бейімделген жылдам әрекет ететін деректерді шифрлау жүйесін әзірлеуді және ЖҚЗ деректерін талдау және түсіндіру үшін геоақпараттық жүйені (ГАЖ) құруды қамтитын кешенді тәсіл ұсынылады. ГАЖ өртті автоматты түрде анықтауға, өрттің таралу динамикасын модельдеуге және зақымдану аймағын бағалауға мүмкіндік беретін аэроғарыштық суреттерді интеллектуалды өңдеу модульдерімен жабдықталған. Деректерді беру мен өңдеудің барлық кезеңдерінде құпиялылық пен тұтастықты қамтамасыз ету үшін шифрлау жүйесін ГАЖ-мен біріктіруге ерекше назар аударылады. Мақалада ұсынылған шешімдерді эксперименттік тексеру нәтижелері, олардың тиімділігі мен орман өрттерін бақылау үшін практикалық маңыздылығы көрсетілген.

Түйін сөздер: төмен орбиталық ұшу аппараттары, деректер қауіпсіздігі, шифрлау, географиялық ақпараттық жүйе, орман өрттері, деректерді өндіру, аэроғарыштық деректер.

М.А.Бакыт, Х.Молдамурат, С.К.Атанов, Д. Калманова

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Высокоскоростная система шифрования данных и геоинформации для мониторинга лесных пожаров для низкоорбитальных самолетов

Аннотация. В статье рассматривается проблема обеспечения безопасности данных, получаемых с низкоорбитальных летательных аппаратов (НОЛА), при решении задач мониторинга и прогнозирования лесных пожаров. Актуальность исследования обусловлена возрастающим объемом данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), получаемых с НОЛА, и необходимостью их оперативной обработки и защиты от несанкционированного доступа. Предлагается комплексный подход, включающий разработку быстродействующей системы шифрования данных, адаптированной к ограниченным вычислительным ресурсам НОЛА, и создание геоинформационной системы (ГИС) для анализа и интерпретации данных ДЗЗ. ГИС оснащена модулями интеллектуальной обработки аэрокосмических снимков, позволяющими автоматически обнаруживать очаги возгорания, моделировать динамику распространения пожара и оценивать площадь поражения. Особое внимание уделено интеграции системы шифрования с ГИС для обеспечения конфиденциальности и целостности данных на всех этапах их передачи и обработки. В статье представлены результаты экспериментальной проверки предлагаемых решений, демонстрирующие их эффективность и практическую значимость для мониторинга лесных пожаров.

Ключевые слова: низкоорбитальные летательные аппараты, безопасность данных, шифрование, географическая информационная система, лесные пожары, интеллектуальная обработка данных, аэрокосмические данные.

References

1. None Amrita, Chika Paul Ekwueme, Ibrahim Hussaini Adam, and A. Dwivedi, "Lightweight Cryptography for Internet of Things: A Review," EAI endorsed transactions on internet of things, vol. 10, Mar. 2024, doi: <https://doi.org/10.4108/eetiot.5565>.
2. S. Kumari, P. Snehil, S. Kumar, P. Kumari, P. Kumari, and S. Karmakar, "A Study on Lightweight Cryptography Algorithm for Internet of Things," SSRN Electronic Journal, 2020, doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3611487>.
3. L. Ning, Y. Ali, H. Ke, S. Nazir, and Z. Huanli, "A Hybrid MCDM Approach of Selecting Lightweight Cryptographic Cipher Based on ISO and NIST Lightweight Cryptography Security Requirements for Internet of Health Things," IEEE Access, vol. 8, pp. 220165–220187, 2020, doi: <https://doi.org/10.1109/access.2020.3041327>.
4. R. H. C and G. C. D, "Privacy-aware novel lightweight cryptography mechanism for IoT (Internet of Things) Security," Multimedia Tools and Applications, vol. 83, no. 31, pp. 76389–76404, Feb. 2024, doi: <https://doi.org/10.1007/s11042-024-18517-0>.

5. K. Moldamurat, A. Tulembayeva, A. Ryspaev, N. Belgibekov, L. Peryakina, and M. Bakyt, "Computer program in sign language for controlling mobile objects and communicating with people," *International Journal of Public Health Science (IJPHS)*, vol. 14, no. 1, p. 502, Mar. 2015, doi: <https://doi.org/10.11591/ijphs.v14i1.24544>.
6. X. Lu and X. Cheng, "A Secure and Lightweight Data Sharing Scheme for Internet of Medical Things," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 5022–5030, 2020, doi: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2962729>.
7. H. Li, C. Lan, X. Fu, C. Wang, F. Li, and H. Guo, "A Secure and Lightweight Fine-Grained Data Sharing Scheme for Mobile Cloud Computing," *Sensors*, vol. 20, no. 17, p. 4720, Aug. 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/s20174720>.
8. J. Tian and X. Jing, "A Lightweight Secure Auditing Scheme for Shared Data in Cloud Storage," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 68071–68082, 2019, doi: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2916889>.
9. Chandrashekhara Meshram et al., "A Provably Secure Lightweight Subtree-Based Short Signature Scheme With Fuzzy User Data Sharing for Human-Centered IoT," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 3649–3659, Jan. 2021, doi: <https://doi.org/10.1109/access.2020.3046367>.
10. Khuralay Moldamurat et al., "Improved unmanned aerial vehicle control for efficient obstacle detection and data protection," *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, vol. 13, no. 3, pp. 3576–3576, Jul. 2024, doi: <https://doi.org/10.11591/ijai.v13.i3.pp3576-3587>.
11. Z. Jiao et al., "A Deep Learning Based Forest Fire Detection Approach Using UAV and YOLOv3," *IEEE Xplore*, Jul. 01, 2019. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8850815?casa_token=meozekckbL8AAA:AA:vaA9eCblb5z-lZc2u4rNsakxBDr7_z7--eBtXnazYIOXdS7ZfFiBkT_an0rQ9nQBOFRdriCkihGL (accessed Apr. 05, 2021).
12. B. Abdusalomov, B. M. S. Islam, R. Nasimov, M. Mukhiddinov, and T. K. Whangbo, "An Improved Forest Fire Detection Method Based on the Detectron2 Model and a Deep Learning Approach," *Sensors*, vol. 23, no. 3, p. 1512, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/s23031512>.
13. H. C. Reis and V. Turk, "Detection of forest fire using deep convolutional neural networks with transfer learning approach," *Applied Soft Computing*, vol. 143, p. 110362, Aug. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110362>.
14. S.-Y. Kim and A. Muminov, "Forest Fire Smoke Detection Based on Deep Learning Approaches and Unmanned Aerial Vehicle Images," *Sensors*, vol. 23, no. 12, p. 5702, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/s23125702>.
15. Khuralay Moldamurat, Yerzhan Seitkulov, Sabyrzhan Atanov, Makhabbat Bakyt, and Banu Yergaliyeva, "Enhancing cryptographic protection, authentication, and authorization in cellular networks: a comprehensive research study," *International Journal of Power Electronics and Drive Systems/International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 14, no. 1, pp. 479–479, Feb. 2024, doi: <https://doi.org/10.11591/ijece.v14i1.pp479-487>.

16. V. Venkataramanan, G. Kavitha, M. Robinson. Joel, and J Lenin, "Forest Fire Detection and Temperature Monitoring Alert using IoT and Machine Learning Algorithm," Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.1109/icssit55814.2023.10061086>.
17. R. K. Dwivedi, R. Kumar, and R. Buyya, "Gaussian Distribution-Based Machine Learning Scheme for Anomaly Detection in Healthcare Sensor Cloud," International Journal of Cloud Applications and Computing, vol. 11, no. 1, pp. 52–72, Jan. 2021, doi: <https://doi.org/10.4018/ijcac.2021010103>.
18. L. Li et al., "Estimation of Ground Water Level (GWL) for Tropical Peatland Forest Using Machine Learning," IEEE Access, vol. 10, pp. 126180–126187, Jan. 2022, doi: <https://doi.org/10.1109/access.2022.3225906>.
19. V. Hassija, V. Chamola, V. Saxena, D. Jain, P. Goyal, and B. Sikdar, "A Survey on IoT Security: Application Areas, Security Threats, and Solution Architectures," IEEE Access, vol. 7, no. 1, pp. 82721–82743, 2019, doi: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2924045>.
20. Makhabbat B., Khuralay M., Assem K., Adil M. and Dina S., "Integration of Cryptography and Navigation Systems in Unmanned Military Mobile Robots: A Review of Current Trends and Perspectives" CEUR Workshop Proceedings, Volume 36802024, 8th International Conference on Digital Technologies in Education, Science and Industry, DTESI 2023, Almaty 6 December 2023 through 7 December 2023, Code 199323.
21. U. Dampage, L. Bandaranayake, R. Wanasinghe, K. Kottahachchi, and B. Jayasanka, "Forest fire detection system using wireless sensor networks and machine learning," Scientific Reports, vol. 12, no. 1, Jan. 2022, doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03882-9>.
22. W. Benzekri, A. El, O. Moussaoui, and M. Berrajaa, "Early Forest Fire Detection System using Wireless Sensor Network and Deep Learning," International Journal of Advanced Computer Science and Applications, vol. 11, no. 5, 2020, doi: <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2020.0110564>.
23. P. Dasari, G. K. J. Reddy, and A. Gudipalli, "Forest fire detection using wireless sensor networks," International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, vol. 13, no. 1, pp. 1–8, 2020, doi: <https://doi.org/10.21307/ijssis-2020-006>.
24. B. Kizilkaya, E. Ever, H. Y. Yatbaz, and A. Yazici, "An Effective Forest Fire Detection Framework Using Heterogeneous Wireless Multimedia Sensor Networks," ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications, vol. 18, no. 2, pp. 1–21, May 2022, doi: <https://doi.org/10.1145/3473037>.
25. Bakyt, M., Moldamurat, Kh., Satybalдина, D.Zh., Yurkov, N.K., MODELING INFORMATION SECURITY THREATS FOR THE TERRESTRIAL SEGMENT OF SPACE COMMUNICATIONS, CEUR Workshop Proceedings, Volume 33822022 7th International Conference on Digital Technologies in Education, Science and Industry, DTESI 2022, Almaty 20 October 2022 through 21 October 2022, Code 188290.
26. M. A. El abbassi, A. Jilbab, and A. Bourouhou, "Efficient Forest Fire Detection System Based on Data Fusion Applied in Wireless Sensor Networks," International Journal on Electrical Engineering and Informatics, vol. 12, no. 1, pp. 1–18, Mar. 2020, doi: <https://doi.org/10.15676/ijeel.2020.12.1.1>.

27. A. Mashat, N. Gharaei, and A. M. Alabdali, "An Energy-Efficient Wireless Power Transmission-Based Forest Fire Detection System," *Computers, Materials & Continua*, vol. 72, no. 1, pp. 441–459, 2022, doi: <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.024131>.
28. V. Dubey, P. Kumar, and N. Chauhan, "Forest Fire Detection System Using IoT and Artificial Neural Network," *International Conference on Innovative Computing and Communications*, pp. 323–337, Nov. 2018, doi: https://doi.org/10.1007/978-981-13-2324-9_33.
29. P. Barmpoutis, T. Stathaki, K. Dimitropoulos, and N. Grammalidis, "Early Fire Detection Based on Aerial 360-Degree Sensors, Deep Convolution Neural Networks and Exploitation of Fire Dynamic Textures," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 19, p. 3177, Sep. 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/rs12193177>.
30. A. Khan, B. Hassan, S. Khan, R. Ahmed, and A. Abuassba, "DeepFire: A Novel Dataset and Deep Transfer Learning Benchmark for Forest Fire Detection," *Mobile Information Systems*, vol. 2022, pp. 1–14, Apr. 2022, doi: <https://doi.org/10.1155/2022/5358359>.

Information about the authors:

Bakyt M.A. – corresponding author, PhD student of the Department of Information Security, IT Faculty at the L.N. Gumilyov ENU.

Moldamurat Kh. – Associate Professor of the Department of Space [Technique And Technology](#) at the L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan, 54 Syganak str., 010000, Astana, Kazakhstan

Atanov S.K. – professor in the Department of CSE at Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan, 54 Syganak str., 010000, Astana, Kazakhstan

Kalmanova D. – acting Associate Professor of the Department of "Space Engineering and Technology" at the L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan, 2 Satbayev str., 010000, Astana, Kazakhstan

Бакыт М.А. – автор для корреспонденции, докторант кафедры информационной безопасности факультета информационных технологий ЕНУ им. Л.Н. Гумилева.

Молдамурат Х. – доцент кафедры космической техники и технологий ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, ул. Сыганак, 54, 010000, Астана, Казахстан

Атанов С.К. – профессор кафедры КСО ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, ул. Сыганак, 54, 010000, Астана, Казахстан

Калманова Д. – и.о. доцента кафедры «Космическая техника и технологии» ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, ул. Сатбаева, 2, 010000, Астана, Казахстан

Бақыт М. А. - хат-хабар авторы, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ Ақпараттық технологиялар факультетінің Ақпараттық қауіпсіздік кафедрасының докторанты.

Молдамурат Х. - Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ Ғарыштық техника және технологиялар кафедрасының доценті, Астана, Қазақстан, Сығанақ көшесі, 54, 010000, Астана, Қазақстан

Атанов С.К. – Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ КЭЖ кафедрасының профессоры, Астана, Қазақстан, Сығанақ көшесі, 54, 010000, Астана, Қазақстан

Қалманова Д. – Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ «Ғарыштық техника және технологиялар» кафедрасының доцентінің м. а., Астана, Қазақстан, Сәтбаев көшесі, 2, 010000, Астана, Қазақстан



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



IRSTI 67.09.55

Article

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-151-2-38-58>

Modern trends in the development of cement production

B. Amiraliyev^{1*} , B. Tamasov¹ , A. Kuandykov¹ , E. Potapova² ,
N. Ainabekov¹ 

¹M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan;

²D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russian Federation

E mail: Badam777@inbox.ru

Abstract. The modern trends in the development of cement process technologies include: high individual production line capacity reaching 12.000 tons of clinker per day, informatization, digitalization of production management, intellectualization of cement equipment operations, the use of artificial intelligence, widespread use of industrial waste, alternative fuels, energy-saving production processes, and reduction of carbon dioxide emissions.

The paper examines the possibilities of using industrial waste as raw materials for producing low-temperature clinkers and mineral additives in composite cements in order to reduce CO₂ emissions.

Low-energy compositions of raw mixtures for clinker production have been developed, which include coal mining waste, lead slag, tephrite-basalt, and clinker from the agglomeration of zinc ores. In these raw mixtures, waste replaces up to 20-25% of natural raw materials, allows clinker formation to complete at 1300–1350°C, increases kiln productivity, and reduces carbon dioxide emissions into the atmosphere by 15-20%. Burnt clay shales from the Betpakdala and Kuyuk deposits were studied as active mineral additives in composite cements to reduce the clinker component, reduce carbon dioxide emissions into the atmosphere, and improve the environmental situation. The processes of shale burning were studied, and the activity of mineral additives was determined depending on the heat treatment temperature. Composite cements with active mineral additives of up to 15% by weight were obtained.

Keywords: zinc ore Waelz clinker, clinker burning, waste, low-energy technologies, composite cement, clay shale

Received 10.12.2024. Revised 24.03.2024. Accepted 30.04.2025. Available online 30.06.2025

*the corresponding author

Introduction

Cement is the most important binder, and cement and concrete based on it remain the main resource materials consumed in all areas of construction. The cement industry plays a key role in the construction industry of Kazakhstan and the world. The cement industry bears an important responsibility for capital construction and plays an invaluable role in the process of industrialization, urbanization and modernization of all countries. At the same time, a new wave of scientific and technological revolution has had a profound impact on cement production methods, which are gradually moving towards high class, intellectualization and greening, standing at the forefront of an era of great changes unseen in a century. They contribute to a more qualitative, efficient and sustainable development of the cement industry, and solve the issues facing the development of the global cement industry [1, 2].

The main problems of cement production are high fuel and energy intensity, as well as environmental pollution with carbon dioxide emissions. The clinker firing temperature in a rotary kiln reaches 1450 °C, the fuel consumption in the kiln and decarbonizer to produce 1 ton of clinker is 110–120 kg of conventional fuel, while up to 850–900 kg of CO₂ is emitted into the atmosphere for each ton of clinker produced.

The state of issues of industrial waste disposal in cement production

Since the 1970s, cement companies have been studying and working to replace natural resources with production waste. With the development of science and technology and the increasing awareness of people about environmental protection, the issue of sustainable development is receiving more and more attention. The Eco-Cement cement plant was established in Japan in the mid-1990s. In the ratio of cement raw materials, the proportion of ash from the incineration of municipal waste and sewage sludge approached 50%. Half of the cement plants in Japan recycle various waste. In 2002, the average waste utilization of cement plants in Japan was more than 355 kg per ton of cement. European cement companies recycle more than 1 million tons of hazardous waste per year. In Europe, combustible waste is widely used as an alternative fuel for clinker burning in rotary kilns and calciners [2, 18].

Most cement plants in the United States use waste fuel as raw materials and fuel, with the overall fuel substitution rate in these companies ranging from 10 to 20%.

For the production of Portland cement clinker, it is proposed to use large-tonnage technogenic waste from the metallurgical and chemical industries, as well as igneous rocks and various mineralizers of the clinker firing process. Many wastes are close in composition and properties to natural raw materials, but are much cheaper than the extraction of natural ones [3].

Currently, the disposal of technogenic waste is one of the significant problems of the modern world. In developed countries, a significant amount of technogenic materials are utilized in the production of Portland cement, since cement production is a large-tonnage process. Scientists have developed effective ways of using technogenic waste as raw materials, mineral and fuel-substituting additives. Some technogenic products have already undergone heat treatment in the process of producing the main products, and some of them contain a number of clinker minerals [4].

The use of the calcium cycle has been chosen as the most suitable option for capturing CO₂ for this application. The reuse of the CaO waste generated by CO₂ capture in a cement plant and the recovery of the energy released from the cooling and clinker capture system to generate

additional energy are the main advantages of this proposal. In this work, flow charts and heat and mass balances are calculated. The results show a low CO₂ reduction cost of 12.4 €/t, which is lower than any other combination of a power plant with a capture system or a cement plant with a capture system, making this proposal economically very attractive. In addition, due to the increased energy efficiency, the reduced use of raw materials and decarbonized materials, and the CO₂ capture system, a significant amount of CO₂ emissions can be avoided by 94%. (Luis et al., 2021) [5].

The solution to energy saving and ecology issues in cement production is waste disposal, replacement of a part of clinker with high cost price with natural or artificial, i.e. natural or man-made additives, production of low-clinker cements [6-8]. Additives are not available in all regions where cement plants are located. The most accessible are pozzolans, blast furnace, phosphorus slags, ashes, etc. The task of researchers is to find and increase the range of

One of the ways to reduce the amount of harmful emissions into the atmosphere, carbon dioxide released during the production of Portland cement clinker is the use of active mineral additives containing silicon dioxide, which reduce the proportion of clinker in the composition of cement. That is, it is necessary to develop effective compositions of composite cements in which part of the expensive clinker is replaced by active mineral additives. Reducing the proportion of clinker accordingly reduces the volume of CO₂ emissions into the atmosphere. This is a pressing global problem that is of concern in Europe, the USA, China and all other countries of the planet [9-12].

In recent years, the cement industry has paid much attention to mineral additives. This is not a new direction, because for several decades, standards have allowed the use of limestone, slag, pozzolana, ash and dust as additives. But the renewed interest in optimizing the use of these materials can be considered relevant today. The use of additional raw materials here - mineral additives allows not only to reduce the cost of cement (in most cases, these materials are much cheaper than clinker), but also to reduce the specific amount of CO₂ emissions [13, 14].

Sivkov S.P. et al. studied the thermodynamic activity of compounds in Portland cements that harden during carbonation and hydration, and also calculated the level of partial pressure of CO₂ and established the activity of carbonation of CO₃²⁻ in mineral compounds. The authors found that the compounds are capable of carbonization under the influence of dry or wet carbon dioxide to form calcium carbonates [15].

Smolskaya E.A. et al. in their work considered the effect of thermally activated clays on the properties of Portland cement. The authors found that thermally activated clays can replace up to 25% of Portland cement clinker without loss of strength and quality of cement, which made it possible to reduce carbon dioxide emissions during cement production [16]. Ram K. et al. studied the effect of kaolinite concentration from two separate clays (collected in the East and South-Eastern Europe) on the durability of concrete. Clay with a low kaolinite content contained 18% kaolinite, while clay with an average kaolinite content contained about 41% kaolinite. The authors proved that kaolinite content has a moderate effect on compressive strength, but has a significant effect on other durability indicators [17]. By a government decree in the Russian Federation, starting in 2025, cement plants are required to use at least 6% recycled raw materials in cement production [19].

In addition, there has been a boom in research and development around the world to green cement technology and improve the characteristics of environmentally friendly cement concrete.

Back in 2021, at the G20 summit, the countries expressed their intention to stop greenhouse gas emissions by the middle of the 21st century [20]. Countries intend to formulate long-term strategies to achieve zero emissions by 2030. G20 leaders called for keeping climate change at 1.5 degrees, but this will require “meaningful and effective action and commitment from all countries.”

Heidelberg Cement is launching a pilot project to capture CO₂ [21]. The ACCSESS project is being implemented in a consortium with the Norwegian Sintef Energi AS, which leads the community. The consortium includes 18 partners. The aim of the project is to significantly reduce the costs in the CCUS (Carbon Capture, Use And Storage) value chain and to develop transport systems to optimize the delivery of CO₂ emissions from mainland Europe to CO₂ storage areas in Scandinavia and the North Sea. As part of the ACCSESS project, Heidelberg Cement will be the first company to use CCUS in Eastern Europe by launching a new CO₂ capture technology at its cement plant in Gurajdzha, Poland. The emission capture plant allows for greater use of waste heat and simplifies the monitoring of secondary emissions. In Uzbekistan, automatic emission tracking systems have been installed at a number of cement plants in order to study the impact of industrial enterprises on the environment. A “stationary observation point” has been created at Akhangarancement JSC, located in the Tashkent region. This serves as an important factor in reducing the impact of industrial enterprises on the environment of adjacent territories [22].

Heidelberg Materials has launched the world's first zero-carbon cement in Europe under the new brand evoZero [23]. evoZero achieves a zero-carbon footprint by using carbon dioxide capture and storage technology at the Heidelberg Materials plant in Brevik. The CO₂ capture and storage technology does not change the existing cement production process; the chemical composition and properties of the cement remain the same. The zero-carbon technology therefore covers the entire range of cements from CEM-I to CEM-III. The installation at the Brevik cement plant is the world's first industrial-scale CO₂ capture facility. Completion of the facility is scheduled for the end of 2024. Once operational, 400,000 tonnes of CO₂ per year will be captured and stored, which corresponds to 50% of the plant's emissions and is equivalent to taking around 180,000 cars off the road. The British Gaulton plant [24] will use 20 thousand tons of ceramic waste and industrial scrap as an alternative raw material in cement production. Recycled ceramics will partially replace natural slate.

Summarizing the above material, the following can be noted:

1. Portland cement with active mineral additives is an easily produced and popular material today;
2. Research on the development of composite cements is aimed not only at reducing the cost of Portland cement, improving environmental conditions, but also at ensuring high quality of the resulting products and using local reserves of available raw materials;
3. Rational waste disposal will significantly reduce the carbon footprint of cement production.

The methodology

The aim of this research is to study the possibility of using industrial waste as raw materials for obtaining low-temperature clinkers and mineral additives in composite cements.

In this work, waste from crushing limestone from the Sastyubinskoye deposit, clinker from the Waelz zinc ore of the Achisai metallurgical plant, electrothermophosphorus slags from the

Novo-Dzhambul phosphorus plant in Taraz, and waste from coal mining in the Lenger mines (Turkestan region) were studied to obtain clinkers as alternative raw materials and corrective additives. All of the above technogenic raw materials are located in close proximity to three large cement plants in Southern Kazakhstan - Standard Cement LLP, Shymkentcement LLP and SastobeTechnologies LLP. Accordingly, logistics and transportation costs for delivering industrial waste to these enterprises will be affordable.

To study the composition of raw materials, industrial waste, and the obtained cement clinker, chemical analysis methods were used according to GOST 5382-2019 Cements and materials for cement production. Chemical analysis methods [25]; X-ray phase analysis of raw materials and clinkers was carried out on a DRON-3 derivatograph [26], an ENDEAVOR8 diffractometer, and an X-ray (S8 Tiger) device [26-28]; electron microscopic studies were performed on a JEOL JSM-6490 LV microscope [26, 28]. The quality of clinker firing was assessed by the content of undigested (free) CaO, which was determined by the ethyl glycerate method [29].

The chemical and mineralogical composition of natural and technogenic raw materials was studied, and the possibility of their rational use in the production of clinker and cement was established (Table 1).

Table 1. Chemical composition of natural and man-made raw materials

Natural and man-made raw materials, deposits	Chemical composition, mass%						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	cl
Natural raw materials							
Limestone of the Kazygurt deposit	4.86	0.72	0.81	51.75	0.36	0.02	41.12
Loess of the Tekesu deposit	50.54	10.35	4.43	13.91	2.67	0.21	13.06
Man-made raw materials that have undergone heat treatment							
Electrothermophosphorus slag (ETPS)	42.68	0.74	0.17	41.18	4.55	0.4	-
Clinker for the production of zinc ores from the Achisai plant	27.55	5.74	33.5	17.33	6.07	1.31	6.5
Man-made raw materials that have not been subjected to heat treatment							
Waste from crushing limestone from the Sastyubinskoye deposit	9.63	1.72	1.26	46.0	0.55	1.15	36.2
Waste from coal mining in the Lenger mines	55.50	10.60	2.01	3.21	0.70	0.79	24.08

In addition to the chemical composition of the raw material, its mineralogical composition is important, which affects the technological process, the firing of clinker and the properties of cement.

Limestone from the Kazygurt deposit (Shymkentcement LLC) contains about 82% calcite, is characterized by a high content of the clay mineral illite - 7.8%.

In order to obtain composite cements, as well as to reduce the proportion of clinker in cement, clay shales were studied, which will be used as a mineral additive. Averaged samples were selected from the samples by quartering. Clay shales were studied using SEM, X-ray diffraction, DTA and spectroscopic methods.

Average chemical composition of materials, %: Clinker sample No. 4 (Table 3) SiO_2 -18; Al_2O_3 - 3; CaO - 55; $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ - 3; Na_2O - 0.42; K_2O - 1.2; MgO - 1.5. Clay shale of the Mynaral deposit SiO_2 -71; Al_2O_3 - 10; CaO - 5; $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ - 11; Na_2O - 2; K_2O - 0.5; MgO - 0.5, Clay shale of the Kuyuk deposit - SiO_2 -53; Al_2O_3 - 10; CaO - 5; $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ - 11; Na_2O - 2; K_2O - 0.5; MgO - 0.5.

The study of clay shale from the Mynaral deposit as a mineral additive was carried out in accordance with the requirements of GOST 25094-2015, the chemical composition was determined according to GOST 5382-2019 [29, 30].

Findings/Discussion

At the initial stage of the experimental part, the main physical and chemical changes during the firing of clay shales at temperatures of 700-900 °C were studied (Figure 2).

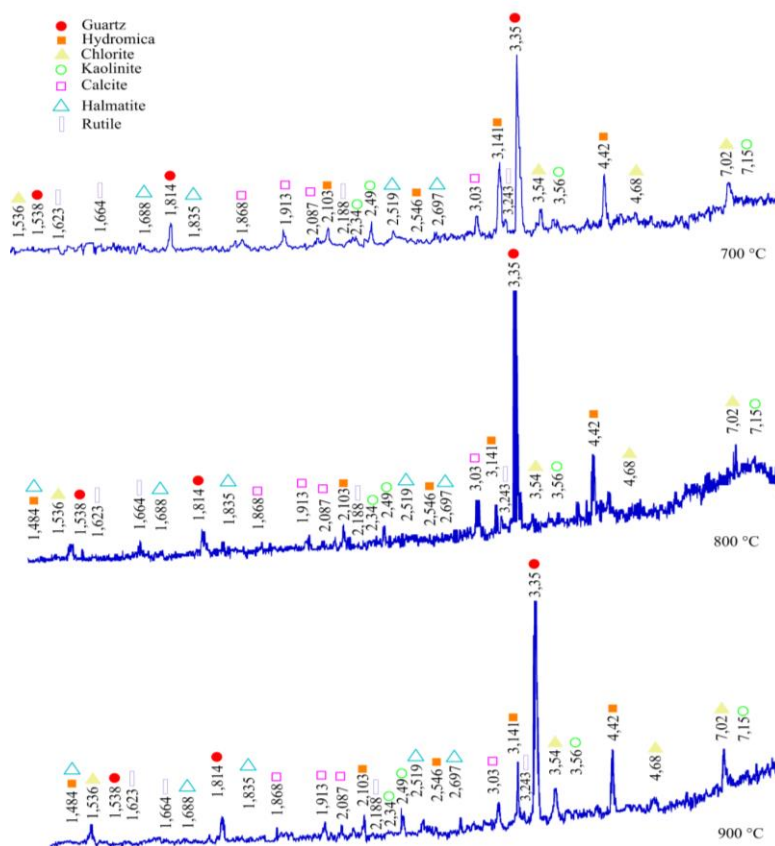


Figure 2. X-ray phase analysis of Mynaral shale fired at temperatures of 700-900 °C

On the X-ray diffraction pattern of clay shales (Figure 2), fired at a temperature of 700 °C, the diffraction maxima of the following minerals were recorded: α -quartz; hydromica; chlorite; kaolinite; calcite; hematite; rutile.

At 800 °C, the diffraction maxima of the following minerals were recorded: β -quartz; mica; chlorite; kaolinite; calcite; hematite; rutile.

At a firing temperature of 900 °C, the diffraction maxima of the following minerals were recorded: β -quartz; dehydrated mica; chlorite; kaolinite; calcite; hematite; rutile.

The study of the activity of the shale of the Mynaral deposit was carried out by the classical method of lime absorption from a lime solution. Figure 3 shows the dependence of the pozzolanic activity of Mynaral shales fired at 700, 800 and 900 °C.

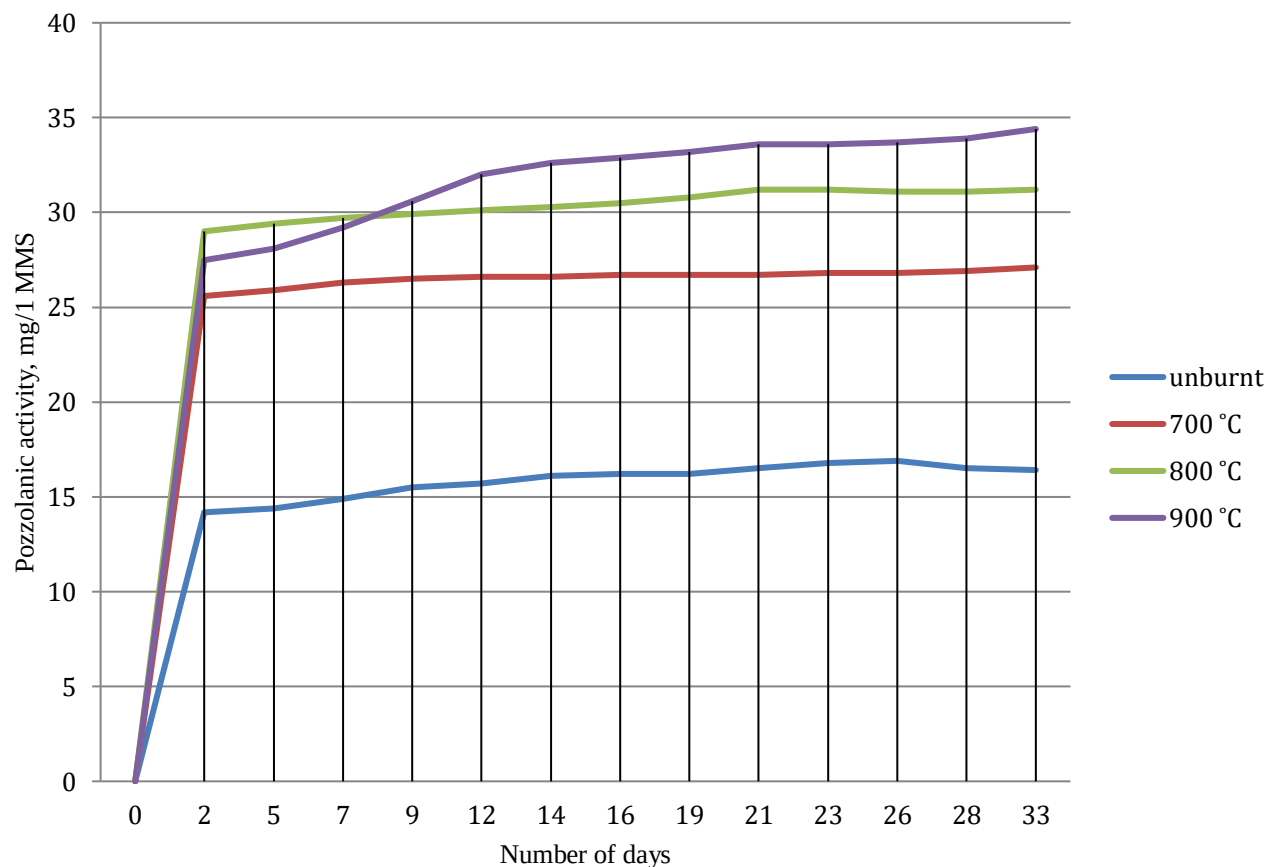


Figure 3. Dependence of the pozzolanic activity of Mynaral slate on the firing temperature

Analysis of the obtained data showed that firing parameters have different effects on the properties of additives, which is due to their chemical and mineralogical composition. Thus, when firing Mynaral slate at 800-900°C, an additive with maximum pozzolanic activity was obtained.

Our studies have shown the possibility of replacing natural raw materials for clinker production with industrial waste, which will reduce fuel consumption for clinker firing, increase furnace productivity, and reduce CO₂ emissions into the atmosphere [31-33]. The following waste and non-traditional raw materials are proposed for this purpose: coal mining waste from the Lenger coal mines, limestone crushing waste, lead slag from the Shymkent plant, clinker from the

Waelz zinc ore production at the Achisai plant, and tephrite basalt from the Daubabinskoye deposit.

Table 3 presents data on the effect of firing temperature and mixture compositions on the content of free CaO in cakes.

Table 3. Effect of mixture compositions and firing temperature on the firing process of low-energy clinkers

Mixture	Component composition of raw materials, wt. %						Modular characteristics			Content of free CaO, %, during firing, °C			
	Limestone	Coal mining waste	Cinders KN	Coal waste + tephrite-basalt (1:1)	Lead slag	Loess	KN	n	p	1300	1350	1400	1450
Control	78.2	-	1.5	-	-	20.3	0.90	2.4	1.68	8.63	6.36	3.52	1.68
1	78.12	18.91	2.97	-	-	-	0.92	2.4	1.08	10.21	5.37	3.28	1.48
2	76.94	18.02	-	-	5.04	-	0.90	2.4	1.14	5.93	1.73	1.29	0.97
3	77.37	17.67	-	-	4.96	-	0.92	2.4	1.14	7.13	1.63	1.53	1.26
4	75.14	-	-	22.17	2.69	-	0.85	2.4	1.26	2.23	0.94	0.57	0.35
5	76.39	-	-	21.37	2.24	-	0.90	2.4	1.26	2.52	1.38	1.08	0.68
6	75.33	-	-	18.31	6.36	-	0.92	2.2	0.84	1.17	1.03	0.62	0.28
7	76.79	-	-	20.68	2.53	-	0.92	2.4	1.27	2.78	1.78	1.26	0.75
8	77.45	-	-	20.11	2.44	-	0.95	2.4	1.27	3.81	1.86	1.41	0.87

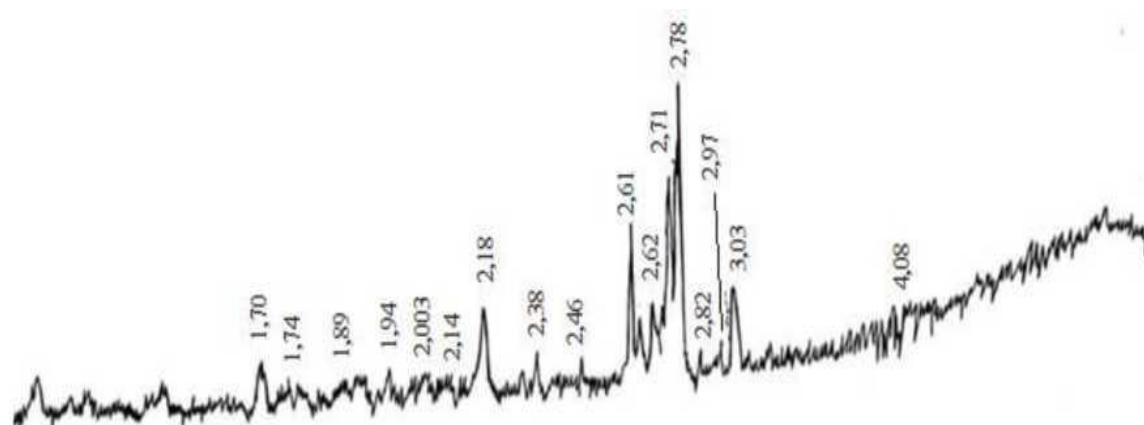
The firing of the control limestone-loess raw mix is completed at 1450 °C. The introduction of about 5% lead slag has a significant mineralizing effect in batches No. 2 and 3. The content of unassimilated CaO at a temperature of 1350 °C decreases to 1.63-1.73%.

Raw mixes No. 4, 5, 7 and 8 contain 20-22% coal waste and 2.5-2.7% lead slag. Sufficiently complete assimilation of calcium oxide (1.39-1.85%) in these mixes is achieved at 1350 °C.

The value of the silicate modulus affects the amount of lead slag introduced. Thus, in raw mix No. 6, with a decrease in the silicate modulus to two, the introduction of lead slag increases to 6.25%. This leads to a significant acceleration of the clinker formation processes, a sufficiently complete assimilation of CaO into clinker minerals is completed at 1300 °C, which is 150 °C lower than in the control batch. In other experimental raw material batches with KH = 0.9 - 0.92, the clinker formation processes are completed at 1350 °C. The content of free CaO in clinkers is 0.93 - 1.74%, which meets the requirements of the plant's process regulations. The X-ray diffraction pattern of clinker is shown in Figure 4.

It was found that the clinker sintering process significantly depends on the lead slag content in the batch: an increase in the slag content accelerates the processes and reduces the clinker firing temperature. The results obtained indicate that it is possible to obtain low-energy clinkers at

temperatures of 1300-1350 °C. This will lead to a decrease in fuel consumption for firing and savings in traditional raw materials for cement production.



d: 2.18; 2.61; 2.78; 3.03Å – C₃S; d=1.74; 1.94; 2.71; 2.82Å – C₂S; d=1.89; 2.82; 2.97; 4.08Å – C₃A; d=2.003; 2.14; 2.65Å – C₄AF.

Figure 4. X-ray phase analysis of clinker from raw material batch No. 2, fired at 1350°C

The following main clinker minerals were identified in low-energy clinker No. 2: C₃S d = 2.18; 2.61; 2.78; 3.03Å; C₂S d = 1.74; 1.94; 2.71; 2.82Å; C₃A d = 1.89; 2.82; 2.97; 4.08Å; C₄AF d = 2.003; 2.14; 2.65Å (Figure 2). No noticeable peaks of other minerals were detected.

A micrograph from a chip of low-energy clinker No. 5 is shown in Figure 5. Analysis of the micrograph allows us to conclude that the crystallization of minerals is clear, their distribution is uneven. Along with areas where alite has a regular geometric shape, there are areas with an indefinite crystal shape.

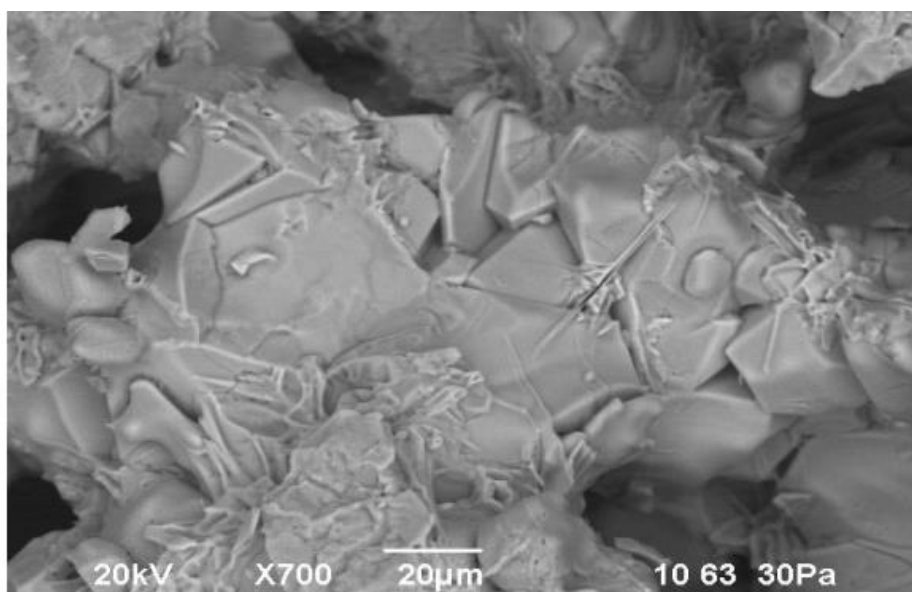


Figure 5. Micrograph of clinker from the raw material batch “limestone + (coal mining waste + tephrite basalt (1:1) + lead slag”

Alite crystallized in the form of minerals of various sizes, sometimes quite large up to 100-140 microns. Lead slag together with tephrite basalt had a fairly strong mineralizing effect on firing, the temperature of the end of clinker sintering decreased from the traditional 1450 °C to 1350 °C, alite crystals grew to fairly large sizes, the residual content of CaO_{free} was 1.39%. Belite is represented by crystals of round and oval shape, cracks are observed on the surface of belite granules. The content of the intermediate phase is quite large and it is represented mainly by calcium aluminoferrite, which is represented by light needle-shaped crystals.

Our studies have also shown the possibility of energy-saving production of cement clinkers from raw mixes consisting entirely of industrial waste. In raw material batches containing 78.8-79.9% of Sastobe limestone crushing waste, 3.84-5.16% of zinc ore Waelz clinker, 15.2-17.3% of phosphorus slag, high-quality clinker can be obtained at 1350 °C. The content of free CaO in clinkers is 1.4-1.5%. Calcium fluoride in phosphorus slag, zinc oxide contained in Waelz clinker, lower the sintering temperature of clinker, accelerate mineral formation processes, and improve the clinker structure. Reducing the firing temperature and fuel consumption will reduce CO_2 and NO_x emissions into the atmosphere, utilize man-made products and reduce the pressure on the environment. The optimal compositions of batches are with $\text{KH} = 0.9-0.92$.

According to the results of X-ray phase analysis, the following minerals are formed in the clinker synthesized at 1350 °C: alite ($d = 3.05; 2.7726; 2.595; 2.33; 2.172; 1.973; 1.757; 1.484 \text{ \AA}$); belite ($d = 2.78; 2.758; 2.595; 2.425; 2.268; 2.172; 2.037; 1.973; 1.882 \text{ \AA}$); C_4AF ($d = 7.3224; 2.772; 2.678; 2.63 \text{ \AA}$).

Microscopic analysis of the clinkers showed the formation of hexagonal and pentagonal alite crystals, rounded belite crystals. Crystallization of clinker minerals is clear and good. The size of alite crystals ranges from 20-30 to 40-60 microns.

Thus, in the process of firing cement clinkers, phosphorus and lead slag, zinc ore Waelz clinker, and tephrite basalt lead to the appearance of a liquid phase at low temperatures, improve its properties, have a mineralizing effect on firing, accelerate the formation of the main minerals belite and alite, facilitate the completion of clinker formation processes at temperatures 100°C lower than in traditional raw mixes, and accelerate the sintering process of clinker. The content of free CaO in low-energy clinkers fired at 1350°C is within the plant standard.

Another effective way to reduce carbon dioxide emissions into the atmosphere during cement production is to reduce the clinker component in cements by introducing active mineral additives.

We have conducted experiments on the use of fired shales from the Mynaral deposit and the Kuyuk deposit as additives to composite cements. In accordance with the requirements of GOST 310.4-81, samples without additives and with additives of shale from the Mynaral deposit and Kuyuk were molded after 3, 7 and 28 days, tested in a hydraulic press and strength indicators were established.

With the addition of 15% of clay shale from the Mynaral deposit, fired at 900 °C, the maximum value of the strength of the cement stone for 28 days was obtained - 50 MPa.

After completing the physical and mechanical tests of cements without additives and with additives of 5-15% of fired shale from the Mynaral deposit, a chemical analysis of the hydrated cement stone was carried out.

The chemical composition of the cement stone was determined using raster electron microscopic analysis. The presence of oxides P_2O_5 , Cr_2O_3 , BaO , TiO_2 , Mn_2O_3 in the amount of 0.2-

0.5% in Portland cement in the form of solid solutions in clinker minerals leads to the acceleration of cement hydration and an increase in the strength of the cement stone. The formation of a strong structure of cement stone based on low-basic calcium hydrosilicates (CSH) contributes to an increase in its strength at the initial stage. The content of oxides in cement stones containing a mixture of shale without impurities and burnt clay is shown in the graph in Figure 6.

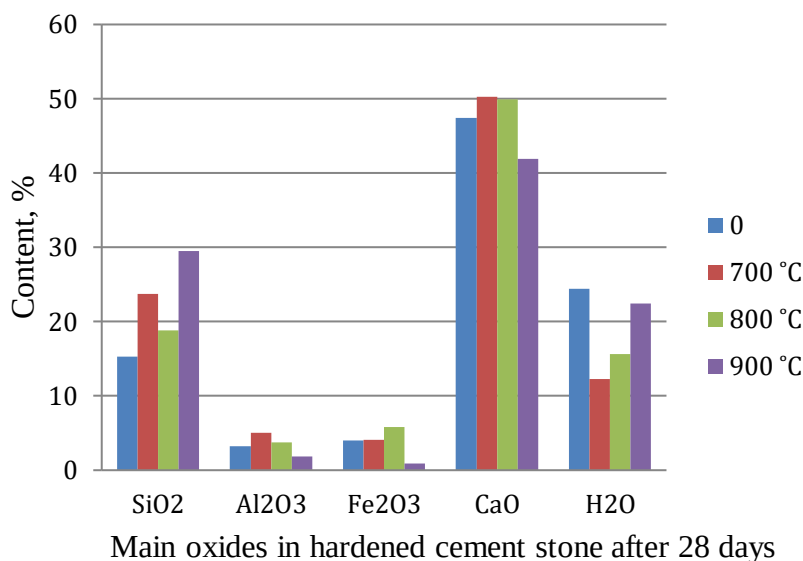


Figure 6. Oxide content in cement stone without additives and with additives of burnt clay shale from the Mynaral deposit

The following diffraction maxima were recorded in the X-ray diffraction patterns of the cement stone: portlandite - $\text{Ca}(\text{OH})_2$, d / n : 4.92; 3.11; 2.63; 1.924; 1.791 Å; dicalcium hydrosilicate - C_2SH (B), d / n : 4.80; 2.94; 2.77; 2.26; 1.872 Å; dicalcium hydrosilicate - C_2SH (C), dicalcium hydrosilicate - C_2SH (A), d / n : 4.21; 3.28; 2.67; 2.42; 1.786 Å; d / n : 3.04; 2.84; 2.70; 1.909; 1.896 Å.

Burnt shale contains active silica and alumina oxide, which quickly react with cement minerals and their hydration products to form stable hydrate compounds. As a result, the strength of 3-day cement stone with 15% shale burned at 900 °C increases by 8% compared to cement stone without additives. The strength of cement stone with the addition of 10% shale burned at 800 °C at the age of 28 days increased by 10%. Clay shales burned at 700-900 °C react with minerals contained in cement, as well as with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ to form structured calcium hydrosilicates of the C_2SH (A), C_2SH (B) type, which have high water resistance and provide increased strength of cement stone.

Conclusion

Modern trends in the development of cement process technologies are: high unit capacity of the production line, informatization, digitalization of production management, intellectualization of cement equipment, energy saving of the production process and reduction of carbon dioxide emissions.

The chemical and mineralogical composition of industrial waste in Southern Kazakhstan and the possibility of using it to produce cement clinker have been established.

Low-energy compositions of raw material mixtures have been developed for producing Portland cement clinker, including limestone crushing waste, coal mining waste, lead and phosphorus slag, tephrite basalt and zinc ore Waelz clinker. These wastes replace from 20-25% to 100% of natural raw materials, allow completing clinker formation processes at 1300 - 1350°C, increasing furnace productivity and reducing harmful carbon dioxide emissions into the atmosphere by 15-20%. The processes of firing raw mixes consisting entirely or partially of industrial waste are completed at 1350°C. This will reduce the consumption of nozzle fuel for firing clinker, increase furnace productivity and reduce the volume of CO₂ emissions into the atmosphere.

High-quality cement clinker was obtained based on raw mixes with Waelz clinker of zinc ores of the Achisai Metallurgical Plant, phosphorus slag, coal mining waste of the Lenger mines and sodium fluoride. The phase composition and microstructure of low-energy clinkers were identified. Involvement of industrial waste in the raw material cycle will reduce environmental pollution and improve the environment.

By introducing additives of burnt shale from the Betpakdala deposit, it is possible to obtain composite cements with a decrease in the share of the clinker component by 10-15%, which will reduce harmful emissions of carbon dioxide into the atmosphere by the same amount. Research in this area will expand the raw material base of active mineral additives for the production of composite cements with low carbon dioxide emissions into the atmosphere.

Acknowledgments, conflict of interest:

This research was funded by the Science Committee 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”).

The authors declare no conflict of interest.

The contribution of the authors.

Baurzhan Amiraliyev – concept, resources, supervision, analysis, resources, drafting, editing.

Taimasov Bakhytzhan – data collection, testing, concept, methodology.

Куандыкова Акнур – funding acquisition, drafting, editing.

Potapova Ekaterina – methodology, drafting, interpretation.

Ainabekov Nurzhan – analysis, visualization, data processing.

Use of Artificial Intelligence (AI): The authors declare that AI was not used.

References

1. Taimasov B.T., Klassen V.K. *Khimicheskaya tekhnologiya vyazhushchikh materialov* [Chemical technology of binders]: textbook/ -2nd edition, suppl. - Belgorod: Publishing house of BSTU, 2017. - 448 p. <https://jcement.ru/reading/books/b-t-taymasov-v-k-klassen-khimicheskaya-tekhnologiya-vyazhushchikh-materialov/>

2. Klassen V.K. Taimasov B.T. *Tsementologiya: struktura, svoystva tsementov i optimizatsiya tekhnologicheskikh protsessov* [Cementology: structure, properties of cements and optimization of technological processes]: textbook / V.K. Klassen, B.T. Taimasov. - Moscow; Vologda: Infra-Engineering, 2024. - 264p. <https://www.litres.ru/book/b-t-taymasov/cementologiya-struktura-svoystva-cementov-i-optimizaciya-tehn-70883365/>
3. Taimasov B.T.: textbook / B.T. Taimasov. *Tehnologiya proizvodstva portlandcementsa* - Almaty: Evero, 2015. - 272 c. [Technology of Portland cement production] <https://thelibrary.net/1712136-tehnologiya-proizvodstva-portlandcementsa.html>
4. Klassen, V.K. / V.K. Klassen, I.N. Borisov, V.E. Manuilov. *Tehnogennye materialy v proizvodstve cementa* - Belgorod: Izd-vo BSTU, 2008. - 126 p. [Technogenic materials in cement production: monograph] <https://search.rsl.ru/ru/record/01004343586>
5. Luis M. Romeo, David Catalina, PilarLisbona, Yolanda Lara, Ana Martinez., 2021 — Luis M. Romeo, David Catalina, PilarLisbona, Yolanda Lara, Ana Martinez. Reduction of greenhouse gas emissions by integration of cement plants, power plants, and CO₂ capture systems, *Greenhouse Gases: Science and Technology*, 1:1:72-82. DOI:10.1002/ghg3.5 <https://scholar.google.bg/citations?user=7rUOIUAAAAJ&hl=tr>
6. Ozerova E.M., Kaigorodov O.N., *Ispolzovanie othodov v Rossiiskoi cementnoi promishlennosti 2020. №4.* - p.33-35. [Waste utilisation in the Russian cement industry // Cement and its application] <https://jcement.ru/magazine/vypusk-4-2020/ispolzovanie-otkhodov-v-rossiyskoy-tsementnoy-promyshlennosti/>
7. M.I. Sanche de Rojas, A. Asencio, M. Frias, I. Cuevas, C. Nizkoklinkernye cementy_ soderzhashchie stroitelnye othody i lom kak puzvolanovuyu dobavku // Cement and its applications, 2020. №2. - p. 84-89. [Medina Low clinker cements containing construction waste and scrap as pozzolanic additive] <https://jcement.ru/magazine/vypusk-2-2020/nizkoklinkernye-tsementy-soderzhashchie-stroitelnye-otkhody-i-lom-kak-putstsolanovuyu-dobavku/>
8. Abramson I. G. / I. G. Abramson *Problemy i perspektivy ustoichivogo razvitiya industrii osnovnykh stroitelnykh materialov* // Cement and its application. - 2007. №6. - p.123-128. [Problems and prospects of sustainable development of the basic building materials industry] <https://jcement.ru/magazine/vypusk-6-239/problemy-i-perspektivy-ustoychivogo-razvitiya-industrii-osnovnykh-stroitelnykh-materialov/>
9. M. Fantini, M. Spinelli, F. Malli, M. Gatti, S. Proekt CLEANKER_ ulavlivanie SO₂ v cementnoi promishlennosti // Cement and its applications, 2020. №2. - p.78-80. [Consonni Project CLEANKER: CO₂ capture in the cement industry] <https://jcement.ru/magazine/vypusk-2-2020/proekt-cleanker-ulavlivanie-co-v-tsementnoy-promyshlennosti/>
10. Sanatov A. / A. Sanatov, S. Estai, T. Khakimzhanov *Analiz sostoyaniya vibrosov parnikovih gazov* // Industry of Kazakhstan. - 2010. - №5. - p. 49-51. [Analysis of the state of greenhouse gas emissions]. <https://studylib.ru/doc/4430389/sanatova-t.s.-amrenova-a.zh.-g>
11. Magistri M. *Clinker savings using additives* / M. Magistri, P. D'Arcangelo. // International Cement Review. - 2009. - №2. - P. 102-106. <https://cadd.mapei.com/wp-content/uploads/2023/11/The-challenge-of-low-clinker-cements-lbausil-September-2023.pdf>
12. Taimasov B.T., Khudyakova T.M., Zhanikulov N.N. *Kompleksnoe ispolzovanie prirodnogo i tehnogennogo sirya v proizvodstve maloenergoemkikh cementov*. Shymkent: Typography

- 'Alem', 2017. – 200p. [Integrated use of natural and man-made raw materials in the production of low-energy cement]
<https://auezov.edu.kz/images/files/%D0%9D%D0%A2%2021/%D0%9D%D0%A2%201%202021.pdf>
13. Taimasov B.T., Dauletov M.S., Zhanikulov N.N., Kassimbekov T.A., Kuandykova A.E. et al. Patent of the Republic of Kazakhstan No. 36495 for invention under application No. 2022/0538.1 "Raw material mixture for producing Portland cement clinker". 08.12.2023.
 14. Kuandykova, B. Taimasov, N. Zhanikulov, E. Potapova. *Belitti klinker sintezdew üşin aşçısay metallwrgiyalı zawıtınıñ klinkerin qoldanw* [Use of clinker from the Ashchisai Metallurgical Plant for the synthesis of Belite clinker Series] // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series CHEMISTRY AND TECHNOLOGY 1 (458) January – March 2024 ALMATY, NAS RK - P.83-93. <https://journals.nauka-nanrk.kz/chemistry-technology/article/view/6081/4371>
 15. Sivkov S.P., Korchunov I.V., Potapova E.N., Dmitrieva E.A., Klimenko, N.N. Activity Thermodynamics of Compounds in Carbonation-Hydration Hardening Cements// Glass and Ceramics. 2023. V. 79. № 9-10. P. 371-377. https://www.researchgate.net/publication/368965373_Activity_Thermodynamics_of_Compounds_in_Carbonation-Hydration_Hardening_Cements
 16. Smolskaya E.A. Potapova E.N., Korshunov I.V., Sivkov S.P. Properties of geopolimer cement based on thermally activated clay// Cement and its application. 2024. No. 1.pp. 50-54. <https://jcement.ru/magazine/vypusk-1-2024/svoystva-geopolimernogo-tsementa-na-osnove-termoaktivirovannykh-glin/> (circulation date: 23.05.2024). <https://doi.org/10.61907/CIA.2024.82.52.001>
 17. Ram K.; Flegar M.; Serdar M.; Scrivener, K. Influence of Low- to Medium-Kaolinite Clay on the Durability of Limestone Calcined Clay Cement (LC3) Concrete. Materials 2023, 16, 374. <https://doi.org/10.3390/ma16010374>
 18. Yang Dan, Wu Zude, Xie Jianfeng, Taimasov B.T., et al. *Novyye tekhnologii i tendentsii razvitiya tsementnogo proizvodstva i oborudovaniya* [New technologies and trends in the development of cement production and equipment]: textbook. - Shymkent: M. Auezov South Kazakhstan University, 2024. - 580 p. https://auezov.edu.kz/rus/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5-%D0%BA%D0%BD%D0%B8%D0%B3%D0%B8/429/all_category
 19. *Opredeleny tovary s obyazatel'nyim ispol'zovaniyem vtorsyr'ya s 2025 goda* [Products with mandatory use of recycled materials from 2025 have been identified] // [Tsement i yego primeneniye Cement and its application] Date of access: 03.09.2024. <https://jcement.ru/content/news/opredeleny-tovary-s-obyazatelnym-ispolzovaniem-vtorsyrya-s-2025-goda/>
 20. *Strany G20 namereny prekratit' vybrosty parnikovyykh gazov k seredine XXI veka*. [G20 countries intend to stop greenhouse gas emissions by the middle of the 21st century // Tsement i yego primeneniye [Cement and its application]. Date of acces: 31.10.2021. <https://www.vedomosti.ru/society/news/2021/10/31/893799-strani-g20>
 21. *Heidelberg Cement zapuskayet pilotnyy proyekt po ulavlivaniyu CO₂* [Heidelberg Cement launches pilot project for CO₂ capture] // Tsement i yego primeneniye [Cement and its

- application]. Date of 17.09.2021. <https://jcement.ru/content/news/heidelbergcement-zapuskaet-pilotnyy-proekt-po-ulavlivaniyu-so2/>
22. *V Uzbekistane izuchayut vliyaniye promyshlennykh predpriyatiy na ekologiyu* [In Uzbekistan, the impact of industrial enterprises on the environment is being studied] // *Tsement i yego primeneniye* [Cement and its application]. Date of access: 08.11.2023. <https://jcement.ru/content/news/v-uzbekistane-izuchayut-vliyanie-promyshlennykh-predpriyatiy-na-ekologiyu/>
23. <https://jcement.ru/content/news/heidelberg-materials-predstavila-evozero-pervyy-v-mire-tsement-s-nulevym-uglerodnym-sledom/> 1/1 28.11.2023.
24. *Kompaniya Aggregate Industries ispol'zuyet otkhody proizvodstva keramicheskikhplit.* [Aggregate Industries uses waste from ceramic tile production]. Source: Aggregate Industries. Great Britain. Date of access: 23.11.2023. <https://jcement.ru/content/news/kompaniya-aggregate-industries-ispolzuet-otkhody-proizvodstva-keramicheskikh-plit/>
25. GOST 5382-2019. Cements and cement production materials. Methods of chemical analysis. Izd-v Standardinform. - Moscow. 2019. - 30 c. Date of introduction 01.06.2020.
26. Taimasov B.T., / B.T. Taimasov, T.M. Khudyakova, M.S. Dauletiyarov. *Fiziko_himicheskie metodi analiza vyajuschi materialov* - Moscow; Vologda : Infra-Engineering, 2024. 144 p. [Physico-chemical methods of analysing binding materials: a practical manual] <https://www.labirint.ru/books/997158>
27. Gorshkov V.S., Timashev V.V., *Metodi fiziko_himicheskogo analiza vyajuschi veschestv:* Textbook. - Moscow: Higher School, 1981. - 335p. [Savelyev V.G. Methods of physico-chemical analysis of binding agents] <https://www.twirpx.com/file/177095/>
28. Myrzakozha D., Mirzakhodzhaev A.A.: *Sovremennye metody issledovaniya* Textbook. 4th ed., supplement. Almaty: 2013. - 428p. [Modern methods of research] https://omarket.kz/catalog/ecc_dosug_knigi/ecc_Knigi/textbooks-and-manuals/uchebnoe-posobie-d-myrzaozha-sovremennye-metody-issledovaniya.html
29. GOST 25094-2015 Active mineral additives for cements. Method for determination of activity. Standard Inform Publishing House: Moscow, Russia, 2016.
30. GOST 5382-2019 Cements and cement production materials. Methods of chemical analysis. Standard Inform Publishing House: Moscow, Russia, 2019.
31. Zhanikulov N.N. Research on obtaining low energy cements from technogenic raw materials / N.N. Zhanikulov, B.T. Taimasov, I.N. Borisov, Zh.K. Dzhanmuldaeva, M.S. Dauletiyarov. // *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. - Bulgaria. - 2020. Vol. 55, №4. - P. 814-823. https://journal.uctm.edu/node/j2020-4/19_19-191_p_814-823.pdf
32. Taimasov B.T. Development and Testing of Low-Energy-Intensive Technology of Receiving Sulphate-Resistant and Road Portlandcement / B.T. Taimasov, B.K. Sarsenbayev, T.M. Khydyakova, A.S. Kolesnikov, N.N. Zhanikulov. // *Eurasian Chemico-Technological Journal*. - 2017. - Vol. 19, № 4. - P.347-355. <https://ect-journal.kz/index.php/ectj/article/view/78>
33. Taimasov B.T. *Protsessy klinkeroobrazovaniya v maloenergoyemkikh syr'yevykh shikhtakh* [Clinker formation processes in low-energy raw material batches] / B.T. Taimasov, T.M. Khudyakova, N.N. Zhanikulov, A.N. Khashimov // *Cement and its application [Tsement i yego primeneniye]*. - 2018. - No. 1. -P.170-174. <https://jcement.ru/magazine/vypusk-1-504/protsessy-klinkeroobrazovaniya-v-maloenergoemkikh-syrevykh-shikhtakh/>

Б. Амиралиев¹, Б. Таймасов¹, А. Куандыкова¹,
Е. Потапова², А. Нуржан¹

¹Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан;

²Российский химико-технологический университет имени Д.И.Менделеева, Москва,
Российская Федерация

Современные тенденции развития цементного производства

Аннотация. Рассмотрена возможность получения портландцементного клинкера с использованием малоэнергоёмких, ресурсосберегающих технологий. Установлен химический и минералогический состав крупнотоннажных отходов промышленности для малоэнергоёмкого получения портландцементного клинкера на заводах Южного Казахстана. Показана возможность замены дефицитной железосодержащей корректирующей добавки клинкером вельцевания цинковых руд. При этом клинкер вельцевания в составе сырьевой шихты выполняет несколько задач: является железистой корректирующей добавкой, работает как минерализатор процессов клинкерообразования, вносит в шихту уголь и позволяет снизить расход природного топлива. Это будет способствовать снижению расхода форсуночного топлива на обжиг клинкера и уменьшению выбросов CO₂ в атмосферу. Установлена возможность получения портландцементного клинкера на основе отходов промышленности из разработанных малоэнергоёмких ресурсосберегающих сырьевых смесей с клинкером вельцевания цинковых руд Ачисайского металлургического завода, фосфорным шлаком, отходами угледобычи ленгерских шахт и фтористым натрием. Применение добавок обожжённых сланцев месторождения Бетпакдала для получения композиционных цементов со снижением доли клинкерной составляющей на 10-15 % и утилизация крупнотоннажных отходов промышленности позволит снизить загрязнение окружающей среды и улучшить экологическую обстановку в регионе.

Ключевые слова: цементный клинкер, обжиг, отходы, клинкер вельцевания цинковых руд, расход топлива, композиционный цемент.

Б. Амиралиев¹, Б. Таймасов¹, А. Куандыкова¹, Е. Потапова²,
А. Нуржан¹

Цемент өндірісінің қазіргі даму тенденциялары

¹ М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан;

² Д. И. Менделеев атындағы Ресей химия-технологиялық университеті, Мәскеу, Ресей
Федерациясы

Аңдатпа. Портландцементті Клинкерді аз энергияны қажет ететін, ресурстарды үнемдейтін технологияларды қолдану арқылы алу мүмкіндігі қарастырылған. Оңтүстік Қазақстан зауыттарында портландцементті Клинкерді аз энергияны қажет ететін алу үшін ірі тоннажды өнеркәсіп қалдықтарының химиялық және минералогиялық құрамы белгіленді. Құрамында темірі бар жетіспейтін түзету қоспасын мырыш кендерін илеу клинкерімен алмастыру мүмкіндігі көрсетілген. Сонымен қатар, шикізат шихтасының

құрамындағы клинкер бірнеше тапсырмаларды орындайды: бұл безді түзету қоспасы, клинкер түзілу процестерінің минерализаторы ретінде жұмыс істейді, шихтаға көмір енгізеді және табиғи отын шығынын азайтуға мүмкіндік береді. Бұл Клинкерді жағу үшін инжекторлық отын шығынын азайтуға және атмосфераға CO₂ шығарындыларын азайтуға көмектеседі. Ачисай металлургиялық зауытының мырыш кендерін илеу клинкерімен, фосфор қожымен, Ленгер шахталарының көмір өндіру қалдықтарымен және натрий фторидімен әзірленген аз энергияны қажет ететін ресурс үнемдейтін шикізат қоспаларынан өнеркәсіп қалдықтары негізінде портландцемент клинкерін алу мүмкіндігі белгіленді. Клинкер құрамдас бөлігінің үлесін 10-15% - ға төмендете отырып, композициялық цементтер алу үшін Бетпақдала кен орнының күйдірілген тақтатас қоспаларын қолдану және өнеркәсіптің ірі тонналық қалдықтарын кәдеге жарату қоршаған ортаның ластануын азайтуға және өңірдегі экологиялық жағдайды жақсартуға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: цемент клинкері, күйдіру, қалдықтар, мырыш кендерін илеу клинкері, отын шығыны, композициялық цемент.

References

1. Taimasov B.T., Klassen V.K. *Khimicheskaya tekhnologiya vyazhushchikh materialov* [Chemical technology of binders]: textbook/ -2nd edition, suppl. - Belgorod: Publishing house of BSTU, 2017. - 448 p. <https://jcement.ru/reading/books/b-t-taymasov-v-k-klassen-khimicheskaya-tekhnologiya-vyazhushchikh-materialov/>
2. Klassen V.K. Taimasov B.T. *Tsementologiya: struktura, svoystva tsementov i optimizatsiya tekhnologicheskikh protsessov* [Cementology: structure, properties of cements and optimization of technological processes]: textbook / V.K. Klassen, B.T. Taimasov. - Moscow; Vologda: Infra-Engineering, 2024. - 264p. <https://www.litres.ru/book/b-t-taymasov/cementologiya-struktura-svoystva-cementov-i-optimizaciya-tehn-70883365/>
3. Taimasov B.T.: textbook / B.T. Taimasov. *Tehnologiya proizvodstva portlandcementsa* - Almaty: Evero, 2015. - 272 c. [Technology of Portland cement production] <https://thelib.net/1712136-tehnologija-proizvodstva-portlandcementsa.html>
4. Klassen, V.K. / V.K. Klassen, I.N. Borisov, V.E. Manuilov. *Tehnogennye materialy v proizvodstve cementa* - Belgorod: Izd-vo BSTU, 2008. - 126 p. [Technogenic materials in cement production: monograph] <https://search.rsl.ru/ru/record/01004343586>
5. Luis M. Romeo, David Catalina, PilarLisbona, Yolanda Lara, Ana Martinez., 2021 — Luis M. Romeo, David Catalina, PilarLisbona, Yolanda Lara, Ana Martinez. Reduction of greenhouse gas emissions by integration of cement plants, power plants, and CO₂ capture systems, *Greenhouse Gases: Science and Technology*, 1:1:72-82. DOI:10.1002/ghg3.5 <https://scholar.google.bg/citations?user=7rUOIUAAAAJ&hl=tr>
6. Ozerova E.M., Kaigorodov O.N., *Ispolzovanie othodov v Rossiiskoi cementnoi promishlennosti* 2020. №4. - p.33-35. [Waste utilisation in the Russian cement industry // Cement and its application] <https://jcement.ru/magazine/vypusk-4-2020/ispolzovanie-otkhodov-v-rossiyskoy-tsementnoy-promyshlennosti/>
7. M.I. Sanche de Rojas, A. Asencio, M. Frias, I. Cuevas, C. Nizkoklinkernie cementi_soderzashchie stroitelnie othodi i lom kak puccolanovuyu dobavku // Cement and its applications, 2020. №2. - p. 84-89. [Medina Low clinker cements containing construction

- waste and scrap as pozzolanic additive] <https://jcement.ru/magazine/vypusk-2-2020/nizkoklinkernye-tsementy-soderzhashchie-stroitelnye-otkhody-i-lom-kak-putstsolanovuyu-dobavku/>
8. Abramson I. G. / I. G. Abramson Problemi i perspektivi ustoichivogo razvitiya industrii osnovnih stroitelnykh materialov // Cement and its application. - 2007. №6. - p.123-128. [Problems and prospects of sustainable development of the basic building materials industry] <https://jcement.ru/magazine/vypusk-6-239/problemy-i-perspektivy-ustoychivogo-razvitiya-industrii-osnovnykh-stroitelnykh-materialov/>
 9. M. Fantini, M. Spinelli, F. Malli, M. Gatti, S. Proekt CLEANKER_ ulavlivanie SO₂ v cementnoi promishlennosti // Cement and its applications, 2020. №2. - p.78-80. [Consonni Project CLEANKER: CO₂ capture in the cement industry] <https://jcement.ru/magazine/vypusk-2-2020/proekt-cleanker-ulavlivanie-co-v-tsementnoy-promyshlennosti/>
 10. Sanatov A. / A. Sanatov, S. Estai, T. Khakimzhanov Analiz sostoyaniya vibrosoy parnikov gazov // Industry of Kazakhstan. - 2010. - №5. - p. 49-51. [Analysis of the state of greenhouse gas emissions]. <https://studylib.ru/doc/4430389/sanatova-t.s.-amrenova-a.zh.---g>
 11. Magistri M. Clinker savings using additives / M. Magistri, P. D'Arcangelo. // International Cement Review. - 2009. - №2. - P. 102-106. <https://cadd.mapei.com/wp-content/uploads/2023/11/The-challenge-of-low-clinker-cements-lbausil-September-2023.pdf>
 12. Taimasov B.T., Khudyakova T.M., Zhanikulov N.N. Kompleksnoe ispolzovanie prirodnogo i tehnogennogo sirya v proizvodstve maloenergoemkiy cementov. Shymkent: Typography 'Alem', 2017. - 200p. [Integrated use of natural and man-made raw materials in the production of low-energy cement] <https://auezov.edu.kz/images/files/%D0%9D%D0%A2%2021/%D0%9D%D0%A2%201%202021.pdf>
 13. Taimasov B.T., Dauletiyarov M.S., Zhanikulov N.N., Kassimbekov T.A., Kuandykova A.E. et al. Patent of the Republic of Kazakhstan No. 36495 for invention under application No. 2022/0538.1 "Raw material mixture for producing Portland cement clinker". 08.12.2023.
 14. Kuandykova, B. Taimasov, N. Zhanikulov, E. Potapova. *Belitti klínker sintezdew úshin aşçısay metallwrgıyalı zawıtınıñ klínkerin qoldanw* [Use of clinker from the Ashchisai Metallurgical Plant for the synthesis of Belite clinker Series] // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series CHEMISTRY AND TECHNOLOGY 1 (458) January - March 2024 ALMATY, NAS RK - P.83-93. <https://journals.nauka-nanrk.kz/chemistry-technology/article/view/6081/4371>
 15. Sivkov S.P., Korchunov I.V., Potapova E.N., Dmitrieva E.A., Klimenko, N.N. Activity Thermodynamics of Compounds in Carbonation-Hydration Hardening Cements // Glass and Ceramics. 2023. V. 79. № 9-10. P. 371-377. https://www.researchgate.net/publication/368965373_Activity_Thermodynamics_of_Compounds_in_Carbonation-Hydration_Hardening_Cements
 16. Smolskaya E.A. Potapova E.N., Korshunov I.V., Sivkov S.P. Properties of geopolymer cement based on thermally activated clay // Cement and its application. 2024. No. 1. pp. 50-54. <https://jcement.ru/magazine/vypusk-1-2024/svoystva-geopolimernogo-tsementa-na->

- osnove-termoaktivirovannykh-glin/ (circulation date: 23.05.2024).
<https://doi.org/10.61907/CIA.2024.82.52.001>
17. Ram K.; Flegar M.; Serdar M.; Scrivener, K. Influence of Low- to Medium-Kaolinite Clay on the Durability of Limestone Calcined Clay Cement (LC3) Concrete. *Materials* 2023, 16, 374.
<https://doi.org/10.3390/ma16010374>
 18. Yang Dan, Wu Zude, Xie Jianfeng, Taimasov B.T., et al. *Novyye tekhnologii i tendentsii razvitiya tsementnogo proizvodstva i oborudovaniya* [New technologies and trends in the development of cement production and equipment]: textbook. - Shymkent: M. Auezov South Kazakhstan University, 2024. - 580 p.
https://auezov.edu.kz/rus/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5-%D0%BA%D0%BD%D0%B8%D0%B3%D0%B8/429/all_category
 19. *Opredeleny tovary s obyazatel'nyim ispol'zovaniyem vtorsyr'ya s 2025 goda* [Products with mandatory use of recycled materials from 2025 have been identified] // *Tsement i yego primeneniye* [Cement and its application] Date of access: 03.09.2024.
<https://jcement.ru/content/news/opredeleny-tovary-s-obyazatelnyim-ispolzovaniem-vtorsyrya-s-2025-goda/>
 20. *Strany G20 namereny prekratit' vybrosy parnikovyykh gazov k seredine XXI veka*. [G20 countries intend to stop greenhouse gas emissions by the middle of the 21st century // *Tsement i yego primeneniye* [Cement and its application]. Date of acces: 31.10.2021.
<https://www.vedomosti.ru/society/news/2021/10/31/893799-strani-g20>
 21. *Heidelberg Cement zapuskayet pilotnyy proyekt po ulavlivaniyu CO₂* [Heidelberg Cement launches pilot project for CO₂ capture] // *Tsement i yego primeneniye* [Cement and its application]. Date of 17.09.2021. <https://jcement.ru/content/news/heidelbergcement-zapuskaet-pilotnyy-proekt-po-ulavlivaniyu-so2/>
 22. *V Uzbekistane izuchayut vliyaniye promyshlennykh predpriyatiy na ekologiyu* [In Uzbekistan, the impact of industrial enterprises on the environment is being studied] // *Tsement i yego primeneniye* [Cement and its application]. Date of access: 08.11.2023.
<https://jcement.ru/content/news/v-uzbekistane-izuchayut-vliyanie-promyshlennykh-predpriyatiy-na-ekologiyu/>
 23. <https://jcement.ru/content/news/heidelberg-materials-predstavila-evozero-pervyy-v-mire-tsement-s-nulevym-uglerodnym-sledom/> 1/1 28.11.2023.
 24. *Kompaniya Aggregate Industries ispol'zuyet otkhody proizvodstva keramicheskikhplit*. [Aggregate Industries uses waste from ceramic tile production]. Source: Aggregate Industries. Great Britain. Date of access: 23.11.2023.
<https://jcement.ru/content/news/kompaniya-aggregate-industries-ispolzuet-otkhody-proizvodstva-keramicheskikh-plit/>
 25. GOST 5382-2019. Cements and cement production materials. Methods of chemical analysis. Izd-v Standardinform. - Moscow. 2019. - 30 c. Date of introduction 01.06.2020.
 26. Taimasov B.T., / B.T. Taimasov, T.M. Khudyakova, M.S. Dauletiyarov. *Fiziko_himicheskie metodi analiza vyajuschi materialov* - Moscow; Vologda : Infra-Engineering, 2024. 144 p. [Physico-chemical methods of analysing binding materials: a practical manual]
<https://www.labirint.ru/books/997158>

27. Gorshkov V.S., Timashev V.V., Metodi fiziko_himicheskogo analiza vyajuschiykh veschestv: Textbook. - Moscow: Higher School, 1981. – 335p. [Savelyev V.G. Methods of physico-chemical analysis of binding agents] <https://www.twirpx.com/file/177095/>
28. Myrzakozha D., Mirzakhodzhaev A.A.: Sovremennye metody issledovaniya Textbook. 4th ed., supplement. Almaty: 2013. - 428p. [Modern methods of research] https://omarket.kz/catalog/ecc_dosug_knigi/ecc_Knigi/textbooks-and-manuals/uchebnoe-posobie-d-myrzaozha-sovremennye-metody-issledovaniya.html
29. GOST 25094-2015 Active mineral additives for cements. Method for determination of activity. Standard Inform Publishing House: Moscow, Russia, 2016.
30. GOST 5382-2019 Cements and cement production materials. Methods of chemical analysis. Standard Inform Publishing House: Moscow, Russia, 2019.
31. Zhanikulov N.N. Research on obtaining low energy cements from technogenic raw materials / N.N. Zhanikulov, B.T. Taimasov, I.N. Borisov, Zh.K. Dzhanmuldaeva, M.S. Dauletiarov. // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. - Bulgaria. - 2020. Vol. 55, №4. - P. 814-823. https://journal.uctm.edu/node/j2020-4/19_19-191_p_814-823.pdf
32. Taimasov B.T. Development and Testing of Low-Energy-Intensive Technology of Receiving Sulphate-Resistant and Road Portlandcement / B.T. Taimasov, B.K. Sarsenbayev, T.M. Khydyakova, A.S. Kolesnikov, N.N. Zhanikulov. // Eurasian Chemico-Technological Journal. - 2017. - Vol. 19, № 4. - P.347-355. <https://ect-journal.kz/index.php/ectj/article/view/78>
33. Taimasov B.T. *Protsessy klinkeroobrazovaniya v maloenergoyemkikh syr'yevykh shikhtakh* [Clinker formation processes in low-energy raw material batches] / B.T. Taimasov, T.M. Khudyakova, N.N. Zhanikulov, A.N. Khashimov // Cement and its application [*Tsement i yego primeneniye*]. - 2018. - No. 1. -P.170-174. <https://jcement.ru/magazine/vypusk-1-504/protsessy-klinkeroobrazovaniya-v-maloenergoemkikh-syrevykh-shikhtakh/>

Information about authors:

Amiraliyev Baurzhan – corresponding author, PhD doctoral student of M. Auezov South Kazakhstan University, Zabadam mkrn, Aikol str. h 42 f. 2, 160022, Shymkent, Kazakhstan.

Taimasov Bakhitzhan – Doctor of Technical Sciences, Professor of Silicate Technology and Metallurgy Department, South Kazakhstan University named after M. Auezov, Samal 1 mkrn, Akkudiyk Tuygy str. 2, 160021, Shymkent, Kazakhstan.

Kuandykova Aknur – PhD doctoral student of M. Auezov South Kazakhstan University, Gagarina str. 44, h 42 f. 2, 160005, Shymkent, Kazakhstan.

Ekaterina Potapova – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of 'Chemical Technology of Composite and Binding Materials', D.I. Mendeleyev Russian Chemical and Technological University. D.I. Mendelev, 9 Miuskaya square, 125047, Moscow, Russian Federation.

Ainabekov Nurzhan – PhD Doctor, Head of Department 'SAIC', M. Auezov University of South Kazakhstan, Dostyk mkrn. Mamyrazhai St.113, Shymkent, Kazakhstan

Амиралиев Бауржан – хат-хабар авторы, М. Әуезов ат. Оңтүстік Қазақстан университетінің PhD докторанты, Забадам шағын ауданы, Айкөл көшесі, 42 үй, 2 пәтер, 160022, Шымкент, Қазақстан

Таймасов Бахитжан – техника ғылымдарының докторы, «Силикаттар технологиясы және металлургия» кафедрасының профессоры, М. Әуезов ат. Оңтүстік Қазақстан университеті, Самал 1 шағын ауданы, Аққұдық Түйіге көшесі 2, 160021, Шымкент, Қазақстан

Қуандықова Ақнұр – М. Әуезов ат. Оңтүстік Қазақстан университетінің PhD докторанты, Гагарин көшесі, 44 үй, 25 пәтер, 160005, Шымкент, Қазақстан

Екатерина Потапова – техника ғылымдарының докторы, «Композициялық және тұтқыр материалдардың химиялық технологиясы» кафедрасының профессоры, Д.И. Менделеев ат. Ресей химия-технологиялық университеті, Миусская пл., д. 9, 125047, Мәскеу, Ресей Федерациясы

Айнабеков Нұржан – PhD докторы, "ҒАМО" бөлімінің басшысы, М. Әуезов ат. Оңтүстік Қазақстан университеті, Достық шағын ауданы, Мамыражай көшесі, 113 үй, Шымкент, Қазақстан

Амиралиев Бауржан – автор для корреспонденции, PhD докторант Южно-Казахстанского университета им. М. Ауэзова, мкрн Забадам, ул Айкол д.42 кв. 2, 160022, Шымкент, Казахстан.

Таймасов Бахитжан – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология силикатов и металлургия», Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, мкрн Самал 1, ул. Аккудык Туйыгы 2, 160021, Шымкент, Казахстан.

Куандыкова Акнур – PhD докторант Южно-Казахстанского университета им. М. Ауэзова, ул. Гагарина, д. 44 кв. 25, 160005, Шымкент, Казахстан.

Екатерина Потапова – доктор технических наук, профессор кафедры «Химическая технология композиционных и вяжущих материалов», Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Миусская пл., д. 9, 125047, Москва, Российская Федерация.

Айнабеков Нуржан – PhD доктор, начальник отдела «ЦНАИ», Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, мкрн. Достык ул. Мамыражай д.113, Шымкент, Казахстан.



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



IRSTI 67.09.55

Article

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-151-2-59-76>

Increase of physical and mechanical parameters of arbolite-concrete composites by deep impregnation with liquid sulfur

B.R. Isakulov*¹ , F.T. Balmaganbetova¹ , A.R. Sundetova¹ 
A.B. Issakulov² , B.M. Dakir³ 

¹Baishev University, Aktobe, Kazakhstan

²Aktobe University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan

³Kazakh-Russian International University, Aktobe, Kazakhstan

E mail: mr.baizak@mail.ru

Abstract. The article deals with the influence of molten liquid sulfur on the physical and mechanical properties of porous arbolite concrete composites. For the manufacture of arbolite-concrete composites we used porous waste corn cob crushed with sizes from 10 to 40 mm. To compare the results of research we also adopted more dense waste vegetation crushed walnut shells with sizes from 10 to 20mm. To conduct the study adopted the method of complete impregnation of arbolitobetonnyh samples liquid molten sulfur. As impregnation, material used sulfur - waste oil production in Kazakhstan. The results of the study found that with an increase in the composition of arbolite concrete composites content of cellulose organic aggregates, there is a significant increase in compressive strength and average density of lightweight concrete depending on the duration of impregnation. We have revealed that physical and mechanical properties and corrosion resistance of impregnated arbolite concrete samples are very high and these data prove that they can be recommended for use in underground and engineering structures.

Key words: Industrial sulfur, petroleum waste, impregnation of samples, arbolite concrete composites, porous organic aggregates, strengthening, average density, mechanical strength

Received 07.01.2025. Revised 05.06.2025. Accepted 08.06.2025. Available online 30.06.2025

*the corresponding author

Introduction

In Kazakhstan, especially in the cities of Atyrau and Pavlodar oil refineries for processing and purification of high sulfur oil with a capacity of up to 12 tons of oil per year have been put into operation, which is expected to allow to obtain from oil processing annually from 220 to 230 thousand tons of technical sulfur. The safe storage of sulfurous waste requires special measures for environmental safety and land allocation for storage of these toxic wastes. For this reason, the processing of high-sulfur oil wastes becomes a priority industrial direction and ecological-economic, technical and technological tasks of which become relevant for the states of Central Asia and the Russian Federation. Increased physical-mechanical and construction-operational characteristics of building materials of products made on the basis of technical sulfur proved the assumption of its effectiveness when used as an impregnation material for surface treatment, pore and intergranular space of concretes and products for various purposes.

Technical sulfur as an impregnating material and as a binding agent in the production of building materials began to be used in the twentieth century in the United States and Great Britain and then it began to be used in the former Soviet Union. This novelty is based on the properties of technical sulfur, which melts at temperatures from 112 to 115 ° C and when cooled to a temperature of 100 ° C crystallizes and prevails increased strength. Sulfur concretes are obtained by mixing coarse and fine aggregates in a heated state with the melt of sulfur. On cooling, the mixture hardens. Such concrete gains strength faster than ordinary concrete and has high chemical and acid resistance. The disadvantage of these concretes is that they are very energy-consuming, since during the manufacture of sulfur concretes must be constant to be heated states [1-3]. The works also indicate that in the first half of the twentieth century, sulfur began to be used for fixing metal bolts in concrete foundations, posts of stairway handrails and flights of stairs. In these works, technological factors affecting the impregnation process such as age and moisture content of concrete, viscosity of the impregnation composition and the effect of surfactants on the structure of concrete are studied. Recommendations on waterproofing of reinforced concrete pavement slabs by impregnation with sulfur compositions in dry hot climates have also been made [1-3]. The conducted research on impregnation of concrete with sulfur was aimed at improving the technology of partial impregnation and at studying the physical and mechanical properties of concrete with regard to durability. It was found that impregnation of concrete with sulfur can significantly improve its initial characteristics. The improvement of these characteristics depends on the weight of sulfur and the depth of impregnation. The influence of concrete humidity on the intensity of impregnation has been studied and the necessity of preliminary drying of concrete has been established to exclude the possibility of polysulfide formation, which with time can turn into sulfates, which are agents of concrete destruction. In the first case there is a volume increase due to the expansion of calcium hydrosulfoaluminates, and in the second case - sulfur leaching without concrete destruction [4-6]. Recently in Kazakhstan and especially in the oil-producing countries of the world the attention of scientific researchers is especially attracted to the method of sealing the pore intergrain space of concrete by impregnation with monomers, oligomers and also oil and gas industry waste, molten liquid technical sulfur. The influence of concrete age, water-cement ratio, impregnation time, curing method, sulfur and concrete temperature at immersion on the properties of impregnated concrete has been studied. It was found that concrete temperature at immersion and sulfur curing method do not significantly affect the impregnation results. [7-9].

Methods of impregnation with monomers, oligomers and molten sulfur for their subsequent polymerization in the pore structure of concrete are used to increase durability and improve physical and mechanical characteristics of construction materials and products used under various aggressive environments. The research results showed that concrete treated with monomers has high sulfate resistance, frost resistance, wear resistance and resistance to distilled water. Methyl methacrylate, butyl acrylate were used as impregnation compositions. Polymerization was carried out by radiation method or in the presence of catalysts at elevated temperatures - by thermocatalytic method [10, 11]. The papers describe research work on impregnation of slag-alkali and sulfur-containing arbolite concretes with molten liquid sulfur. The results of the study showed that sulfur impregnation has a very significant effect on improving the physical and mechanical properties of arbolite concretes. The disadvantage of this study is that in the process of impregnation sulfur-containing arbolite concrete melts and loses geometric shapes [12-14]. The works show methods of impregnation of building materials and products of organic and inorganic origin possessing a system of closed-open capillaries. Systematic search for new ways of their antifiltration protection shows that the existing methods for one reason or another do not fully satisfy the requirements to them. In our opinion, that at contact with the solid surface of dispersoid grains or solid matrix molecules of impregnating liquid under the action of physical and chemical phenomena penetrate into voids and remain there in their original form or under the influence of temperature, catalysts and radiation pass into irreversible state [15-16]. Arbolite are varieties of lightweight concrete, as a coarse aggregate mainly enters various waste vegetation. Also arbolitobetonnye composites depending on the components has an average density ranging from 400 to 1200 kg/m³ and has a strength of 1.0 MPa to 5.0 MPa. The disadvantages of these arbolitobetonnyh composites can be attributed to their low strength and resistance. To protect against the effects of aggressive external factors and also to increase the construction and technical parameters of porous arbolite concrete products of plant origin can be impregnated with technical sulfur [17, 18].

The purpose of the study is to improve the performance of lightweight arbolite concrete by impregnation with technical sulfur for use in underground and engineering structures.

To achieve the goal the following tasks were set:

1. investigation of the effect of the influence of molten liquid sulfur on the physical and mechanical properties of less durable arbolite concrete products.
2. Comparing the results of the study to determine the optimal arbolite-concrete product with higher physical-mechanical and construction-technical indicators.

The methodology

Arbolite concrete composites are varieties of lightweight concrete made on the basis of vegetation waste and binders. For the manufacture of arbolite-concrete composites used porous waste corn cob crushed with sizes from 10 to 40 mm. At the time of experimental work moisture characteristics of corn cob waste was 3-5%. The chemical composition of corn cob waste is given in Table 1.

For comparison of research results we also adopted more dense waste vegetation crushed walnut shells with sizes from 10 to 20mm.

Table 1. Chemical composition of corn cob waste

№ b/o	Name of composition	Chemical formula	Number, in %
1	Cellulose	$C_6H_{10}O_5$	46,17
2	Lignin	$C_{41}H_{40}O_{15}$	29,76
3	Pentosan	$C_5H_8O_4$	22,00
4	Resins and soluble components	-	2,07

At the time of experimental work moisture characteristics of walnut waste also amounted to 3-5%. The chemical composition of walnut shell waste is presented in Table 2.

Table 2. Chemical composition of walnut shells

№ b/o	Name of composition	Chemical formula	Number, in %
1	Cellulose	$C_6H_{10}O_5$	45,7
2	Lignin	$C_{41}H_{40}O_{15}$	23,2
3	Pentosan	$C_5H_8O_4$	26,4
4	Resins and soluble components	-	4,7

Portland cement of 400 grade from Kyzylkum cement plant of Navoi region of Navoi region of the Republic of Uzbekistan was also used for the manufacture of arbolite concrete composites. The chemical composition of cement is given in Table 3.

Table 3. Chemical composition of Kyzylkum cement plant

Content, %									
Basic oxides						Major minerals			
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	R ₂ O	SO ₃	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
61,48	23,38	6,38	6,09	0,38	0,60	57,60	17,40	7,90	13,10

Fly ash from Aktobe TEC, meeting the requirements of GOST 10181-2000 [19], was used as an active mineral additive. Chemical composition of fly ash is presented in Table 4.

Table 4. Chemical composition of fly ash mineral additive

Losses on ignition, wt. %	Oxide content, wt. %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃ +TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	NaO ₂	SO ₂	
7,33	48,3	23,92	5,94	9	1,9	0,18	0,52	

In the experimental and research work as an impregnating agent we used waste high-sulfur oil of Aktobe oil and gas production of the Republic of Kazakhstan. Technical sulfur is a solid

crystalline substance with yellowish color shade and melting point from 115 to 119°C. When the temperature rises to 200°C passes into a viscous state and at 450°C passes to the process of boiling, from then sharply burns.

Table 5 shows the chemical composition of technical sulfur grade No. 9998.

Table 5. Chemical composition of sulfur grade № 9998

№ b/o	Name of fraction of substances in the composition of sulphur	Number, %
1	Mass fraction of sulfur, %	99,060
2	Mass fraction of ash, %	0,400
3	Mass fraction of organic matter, %	0,053
4	Mass fraction of water, %	0,010

Two series of cemented arbolite specimens with different compositions were manufactured for experimental work. Each series consisted of four sample cubes with dimensions 100x100x100mm with different binder compositions. The first four series of sample cubes were made using porous corn cob waste with dimensions of 15-30mm and the second series of samples were made using crushed walnut shells with dimensions of 18-25mm. After that all these cube samples we used for sulfur impregnation.

Table 6. Compositions and properties of arbolite-concrete samples of series №1

Name of indicators	Unit of measurement	Indicator values for arbolite
Consumption of cement grade 400	kg/m ³	325
Corn cob waste consumption	kg/m ³	235
Water consumption with dry organic aggregates	l/m ³	350
Fly ash consumption	kg/m ³	90
Density in dried state	kg/m ³	600–630
Compressive strength	MPa	2,9
Water absorption by mass	%	67
Frost resistance	cycle	50
Heat transfer coefficient	W/m ² K	0,10

Since the purpose of our study was to investigate the effect of molten liquid sulfur on the physical and mechanical properties of less durable arbolite concrete composites, we prepared two series of simple cement arbolite concrete composites with different compositions and physical and mechanical properties for impregnation. The compositions and properties of arbolite concrete composites prepared for impregnation with sulfur-waste are given in tables 6 and 7.

Preparation and determination of properties of lightweight arbolite-concrete compositions were determined according to standard methods in accordance with GOST 31108-2003 and GOST

7473-2010 [20, 21]. Determination of tensile and bending strength of binders was carried out on specimen beams with dimensions 40x40x160 mm on the device IP 2710.

Determination of tensile strength of sulfur-waste impregnated arbolite samples was carried out according to the standard methodology. Impregnation of arbolite concrete samples with molten liquid technical sulfur can be carried out in the following technological sequence. To carry out dehydration in capillary-porous structures of arbolite-concrete composites it is necessary to perform pre-drying with heating for 6 to 10 hours at a temperature of 125-145°C. For arbolitobeton composites dried to a constant mass, impregnate with molten sulfur at a temperature of 125 to 185 ° C for 2 to 24 hours. Gradual uniform cooling of impregnated molten liquid sulfur impregnated arbolitobetonnyh samples to the required depth brings to the ambient temperature within 2 to 4 hours. Given all these factors technology impregnation of arbolite with molten liquid sulfur can be argued that the entire technological cycle of impregnation of arbolite concrete samples with liquid sulfur will last from 2 to 24 hours.

Table 7. Compositions and properties of arbolite-concrete samples of series №2

Name of indicators	Unit of measurement	Indicator values for arbolite
Consumption of cement grade 400	kg/m ³	350
Consumption of walnut shells	kg/m ³	250
Water consumption with dry organic aggregates	l/m ³	370
Fly ash consumption	kg/m ³	90
Density in dried state	kg/m ³	600–660
Compressive strength	MPa	3,7
Water absorption by mass	%	45
Frost resistance	cycle	75
Heat transfer coefficient	W/m ² K	0,135

During the impregnation of molten sulfur with waste arbolite concrete samples workers must strictly observe technical safety measures in accordance with GOST R 58965-2020, GOST 9.010-80 and GOST 12.4.034-2001 [22 - 24]. Workers engaged with the sulfur impregnation process should have self-contained protective breathing apparatus at their disposal, especially when melting sulfur. Smoking should be prohibited during transportation and processing of sulphur and in places where it is stored. Contact of liquid or transfused sulphur with a source of sunburn should be avoided

Findings/Discussion

In accordance with the purpose and task of the study at impregnation of arbolite concrete composites with molten sulfur wastes depending on the duration of impregnation time we obtained the following results. It is established that after impregnation of arbolite concrete composites with molten sulfur wastes, in all samples of arbolite concrete composites substituted improvement of physical and mechanical characteristics, such as, average density and strength. In the study of impregnation with sulfur-containing waste samples of arbolite concrete composites

of different compositions, as well as different organic cellulose aggregates, the following results were obtained. As can be seen from the results of the study, presented in Figure 1 and Table 8, it can be seen that the strength characteristics of samples subjected to impregnation in liquid molten technical sulfur for compositions 1-4 (series №1), made on the basis of porous corn cob waste, increased and amounted to 3.7; 4.8; 7.9 and 8.7 MPa.

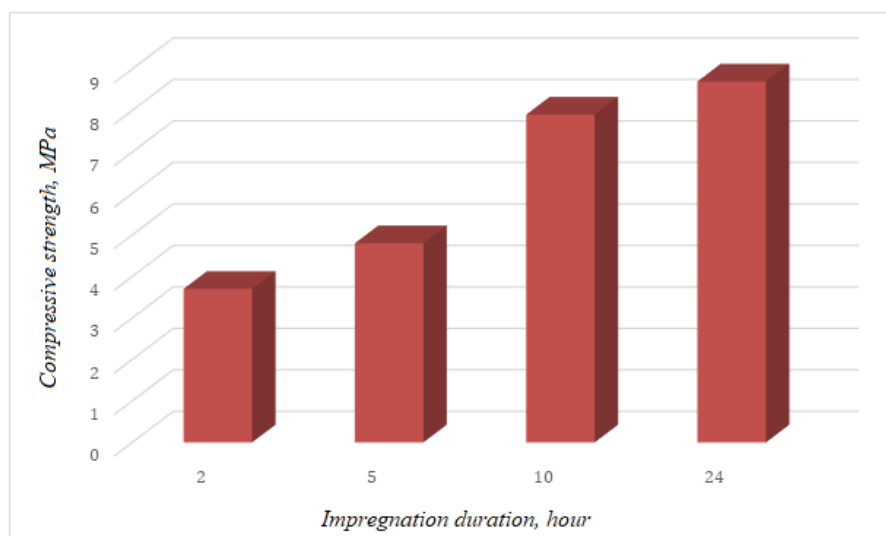


Figure 1. Increases in the strength of arbolite concrete composites based on corn waste depending on the duration of impregnation

We also found that at impregnation with molten liquid sulfur-containing waste arbolite-concrete composite samples based on walnut shell waste depending on the duration of impregnation time (compositions 1-4, series №2), we noted an increase in their strength from 3.8; 4.2; 5.9 to 8.1 MPa.

Table 8. Change of physical and mechanical properties of arbolite concrete samples based on corn cob waste after impregnation with sulfur

Series of prototypes	Impregnation time, hour	Sulfur gain, %	Compressive strength of samples before impregnation, MPa	Compressive strength of samples after impregnation, MPa	Average density of samples before impregnation, kg/m ³	Average density of samples after impregnation, kg/m ³	Coefficient hardening factor, MPa
1-series	2	4,1	2,75	3,7	600	624,6	1,041
2-series	5	7,2	2,90	4,8	610	653,92	1,072
3-series	10	9,2	2,91	7,9	620	677,04	1,092
4-series	24	10,3	2,95	8,7	630	694,89	1,103

The results of the obtained studies are shown in Figure 2 and Table 9.

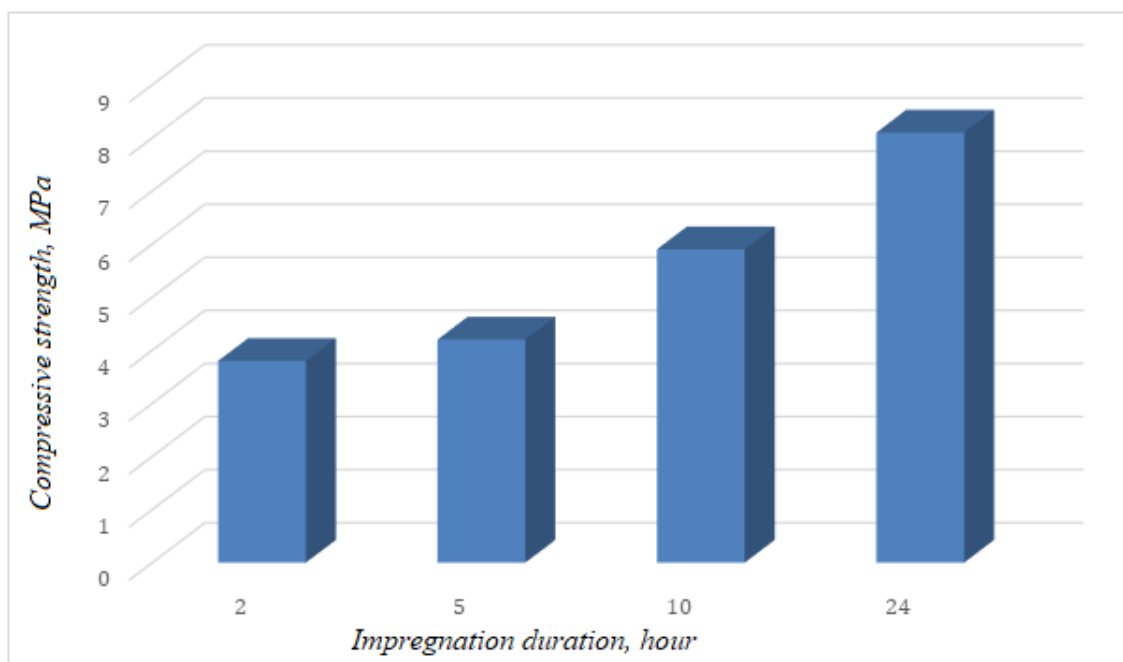


Figure 2. Increases in the strength of arbolite-concrete composites based on walnut shell waste depending on the duration of impregnation

The results of experimental work have established that with increasing the content of cellulose-organic aggregates consisting of corn cob waste and crushed walnut shells in the composition of arbolite concrete composites, there is a significant increase in the mass of sulfur and average density of lightweight concrete depending on the duration of impregnation with sulfur-containing waste.

Table 9. Change in physical and mechanical properties of arbolite concrete samples based on walnut shell waste after impregnation with sulfur

Series of prototypes	Impregnation time, hour	Sulfur gain, %	Compressive strength of samples before impregnation, MPa	Compressive strength of samples after impregnation, MPa	Average density of samples before impregnation, kg/m ³	Average density of samples after impregnation, kg/m ³	Coefficient hardening factor, MPa
1-series	2	2,9	3,6	3,8	600	617,4	1,029
2-series	5	4,9	3,7	4,2	620	650,38	1,049
3-series	10	7,7	3,75	5,9	640	689,28	1,077
4-series	24	8,9	3,83	8,1	660	718,74	1,089

For the samples of arbolite concrete based on corn cob waste, the increase in average density and sulfur weight were (Table 8 and Fig. 3):

- after 2-hour impregnation, the sulfur weight increased by 4.1% and the average density increased to 624.6 kg/m³;
- after 5-hour impregnation, the weight of sulfur increased by 7.2% and the average density increased to 653.92 kg/m³;
- after 10-hour impregnation, the weight of sulfur increased by 9.2% and the average density increased to 677.04 kg/m³;
- after 24-hour impregnation, the sulfur weight increased by 10.3% and the average density increased to 694.89 kg/m³.

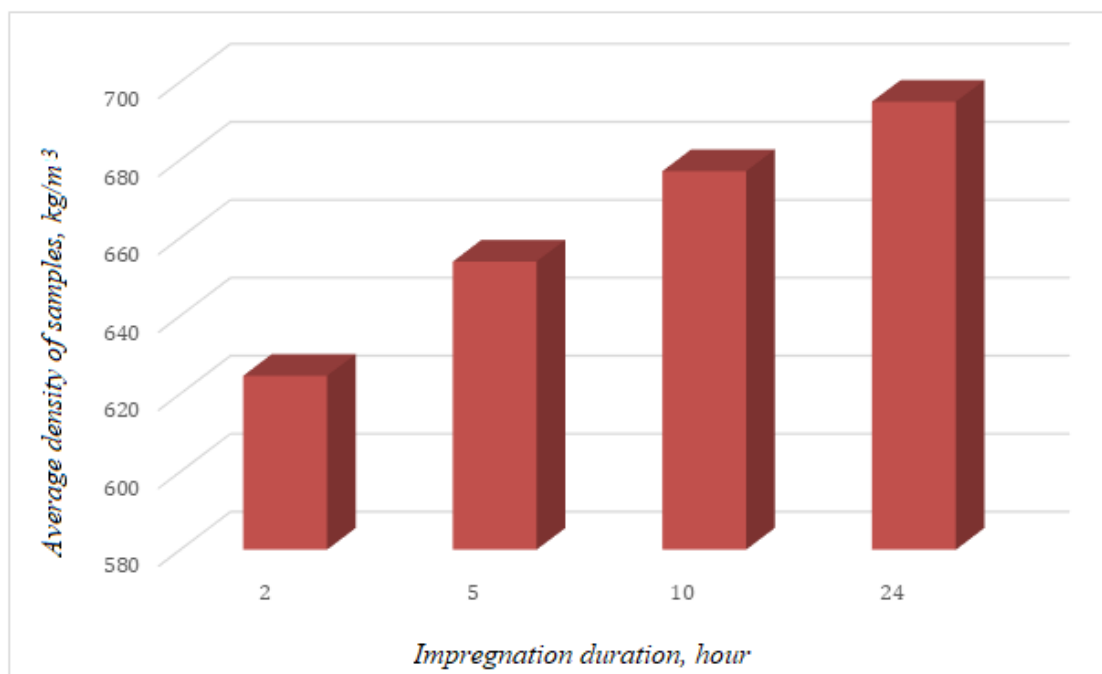


Figure 3. Increase in the average density of arbolite concrete samples based on corn cob waste depending on the duration of sulfur impregnation

When impregnated with sulfur waste arbolite concrete samples based on walnut shell waste, an increase in average density and an increase in the weight of sulfur are observed. The obtained results are presented in Table 9 and Fig. 4:

- after 2-hour impregnation, the sulfur weight gain by 4.1% and the average density increased to 617.4 kg/m³;
- after 5-hour impregnation sulfur weight gain by 7.2% and average density increased to 650.38 kg/m³;
- after 10-hour impregnation sulfur weight gain by 9.2%, and the average density increased to 689.28 kg/m³;
- after 24-hour impregnation, sulfur weight gain by 10.3% and average density increased to 718.74 kg/m³.

Weight gain and increase in the average density of impregnated arbolite concrete samples can be explained by the content and change in the structural porosity of cellulose organic aggregates in the composition of impregnated lightweight concrete. On this value and also the change of physical and mechanical properties of impregnated arbolite concrete samples is significantly influenced by the duration and methods of impregnation. It can be noted here that in all impregnated specimens there is an increase in mechanical strength and average density. Test impregnated with sulfur waste arbolite concrete samples in compression showed that all samples without exception increased their mechanical strength from 1,5 to 3,5 times.

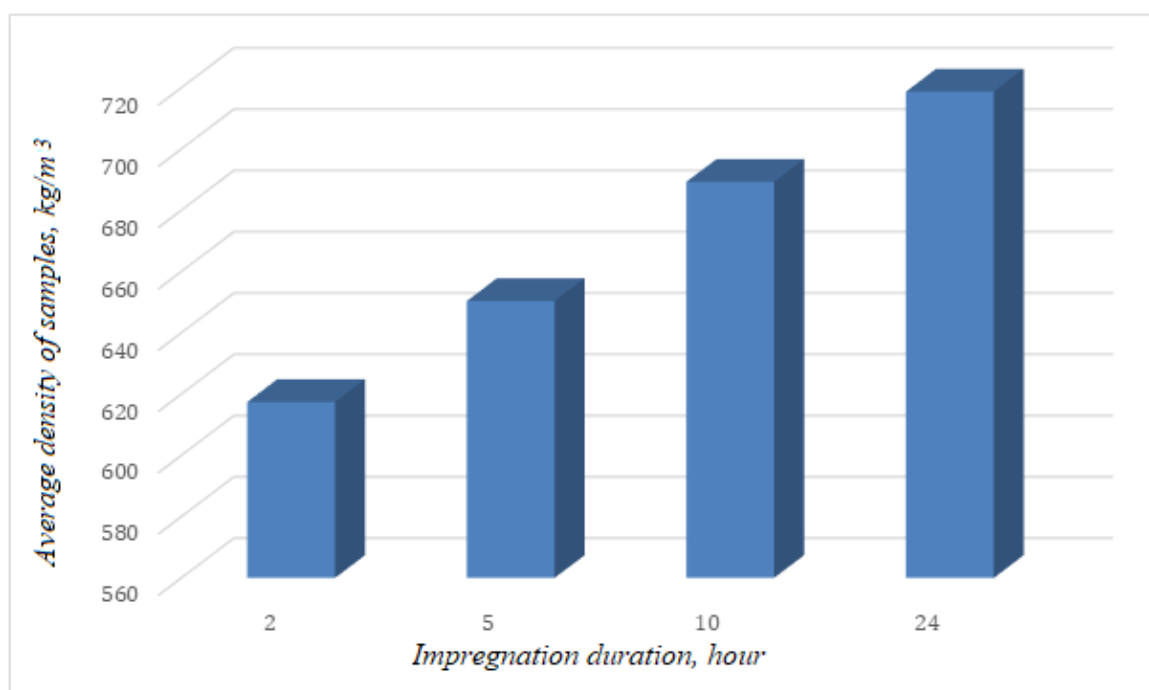


Figure 4. Increase in the average density of arbolite concrete samples based on walnut shell waste depending on the duration of sulfur impregnation

We found that with increasing the time and duration of impregnation from 2 to 24 hours there is an intensive increase in strength of impregnated samples (Tables 8 and 9). Further impregnation and exposure of arbolite concrete samples in molten sulfur does not significantly affect the physical and mechanical characteristics of arbolite concrete composites. Growth of the compressive strength of arbolitobeton in the process of impregnation with sulfur-waste showed that the greatest relative increase in the compressive strength of arbolitobeton samples made on the basis of porous waste corn cob and the results are shown in Table 8. In this case, the value of hardening coefficient for all types of arbolitobeton concrete samples does not differ significantly from each other, and they are in the range from 1.041 to 1.103. The impregnation of arbolite concrete composites with molten liquid sulfur shows the high capable qualities of the studied lightweight concrete.

In Figure 5 shows the samples of unimpregnated (a) and sulfur waste impregnated (b) arbolite concrete composites. From Figure 5 and Tables 8, 9, it can be seen that compared to the

unimpregnated samples, the impregnated samples of arbolite concrete composites differ in appearance and construction and performance.

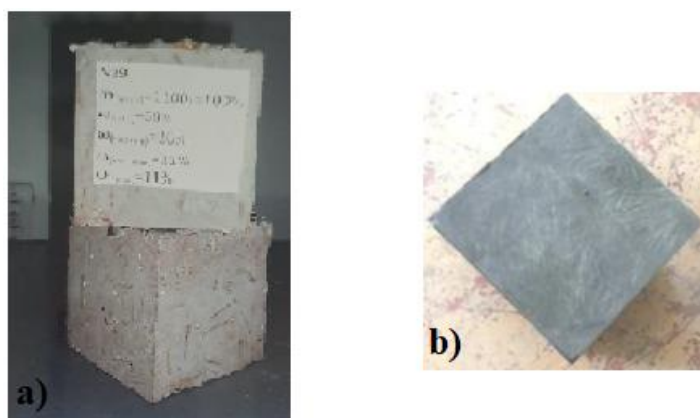


Figure 5. Samples of unimpregnated (a) and impregnated with sulphurous waste (b) arbolite concrete composites

In accordance with the goal and objective of our study it was found that the optimal arbolitoconcrete products with higher physical-mechanical and construction-technical indicators is arbolitoconcrete composites made on the basis of corn waste. After impregnation with gray waste, the density of the studied samples increased to 694.89 kg/m³ and the strength increased to 8.7 MPa. These results are explained by the fact that the porous structure of organic aggregates in the composition of arbolitoconcrete, causing suction of liquid sulfur of corn waste immediately after its impregnation and leading to the strengthening of its physical and mechanical properties.

The character of structure formation of arbolite-concrete composites to some extent obeys the laws of “binder - cellulose organic aggregate”. After impregnation of arbolite concrete samples with molten liquid sulfur in the contact “arbolite - impregnating material” physical and chemical processes occur, which determine the bonding characters between porous lightweight arbolite concrete and liquid technical sulfur. In this case, a very significant influence has porous structure of arbolite concrete, causing suction of liquid sulfur by arbolite immediately after its impregnation, which leads to the strengthening of its bonding properties between molten liquid sulfur and uneven rough surfaces of organic aggregate.

Our experimental studies also lead to the conclusion to clarify the hypothesis on structure formation of strength of arbolite concrete composites impregnated with monomers, oligomers and also technical liquid sulfur. Based on our developed data and theories of numerous authors [11-15], we concluded that in the case of using technical liquid sulfur as an impregnating material, the most significant are the presence of three-dimensional framework in porous organic aggregates arbolitobetonnyh composite. While increasing the bonding strengths of the contact zone of organic aggregates and binders, due to the joint adhesive effect of arbolite and technical sulfur, which contribute to the volumetric filling of pores and cracks with molten liquid sulfur and leading to the strengthening of the contact zone of the developed materials.

Conclusions

In the construction industry to increase the durability of building materials and structures operated under various aggressive environments, various materials and different progressive methods are used. Dealing with this urgent problem it is established that molten liquid technical sulfur is a very cheap and promising impregnation building material to increase the durability of building materials. The obtained results on impregnation of arbolite concrete composites with molten liquid sulfur indicate high physical and mechanical qualities of the studied material. We also found that sulfur-impregnated waste arbolite-concrete materials and structures can be recommended for underground and engineering structures. To solve possible negative consequences of liquid technical sulfur in impregnated arbolite concrete composites and risks of residual sulfur for the durability of structures after impregnation of arbolite concrete composites the following work is carried out. When melting technical sulfur a large amount of carbon dioxide contained in it volatilizes outward, when re-curing from it emanates an unpleasant odor in very small quantities. To eliminate the residual toxic odor in underground and engineering structures after impregnating them with technical sulfur, measures are taken to plaster the surface of the walls of the above-mentioned structures [25]. When plastering the surface of walls of underground and engineering structures consisting of wall arbolite concrete blocks, the toxic odor of sulfur remains under the cement sand plaster and does not spread into the environment. Based on this research, impregnation methods can be developed for low-strength lightweight concrete based on different formulations. The results of the study provide valuable ideas in practical terms for their use in the construction industry in the construction of underground structures. Although the study on impregnation of low-strength arbolite concrete composites with gray waste covers important aspects of the topic, this study only addresses a limited area of the construction industry for underground structure. Despite the significance of the findings, more extensive research is needed to set up additional experimental work to investigate the strength and deformability of arbolite concrete products.

The contribution of the authors

Isakulov B.R. - concept, methodology, resources, data collection, testing of experimental samples;
Balmagambetova F.T. - modeling, analysis;
Sundetova A.R. - visualization, interpretation,
Isakulov A.B. - writing;
Dakir B.M. - editing.

This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (AP25794879 - Recycling of plastic film waste as a binder for the production of reed-layered building material).

References

1. Kasimov, I.K. Impregnated slabs of factory readiness. Construction and Architecture of Uzbekistan. 1972. № 8. С. 33-39.

2. Mikhailov, K.V. Polymer concretes and constructions on their bases. Moscow: Stroyizdat, 1989. 304 c.
3. Orlovskiy, Yu.I. Concrete and products on the basis of sulfur-containing wastes. Concrete and Reinforced Concrete. 1995. № 3. C. 21-24.
4. Paturoev, V.V. Properties and prospects of application of sulfur concrete. Concrete and Reinforced Concrete. 1985. № 5. C. 16-17.
5. Parfenyuk, S.A. Experience of using sulphur and sulphur-containing wastes in asphalt-concrete pavement construction. Automobile roads. 1987. № 2. C. 16.
6. Paturoev, V.V. Technology of polymer concretes. Moscow: Stroyizdat, 1977. 240 c.
7. Paturoev, V.V. Sulfur impregnated concretes. Building materials. Moscow, 1985. C. 59.
8. Isakulov, B.R. Improvement of physical and mechanical properties of lightweight concrete by impregnation with sulfur-waste of oil and gas industry of Kazakhstan. Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. Kazan, 2011. № 4. C. 163-167.
9. Kulsharov, B., Isakulov, B., Sokolova, Y., Akulova, M., Sokolova, A. Slag-alkali lightweight concrete with corn waste aggregate. E3S Web of Conferences, 2023, 457, 01003.
10. Isakulov, B., Abdullaev, H., Mukasheva, A., Akishev, U., Ordabayeva, G. Investigation of the formation of microstructure and strength characteristics of slag-alkaline arbolite. Eureka, Physics and Engineering, 2023, 2023(2), pp. 209–221.
11. Issakulov, A., Omarov, A., Zhussupbekov, A., Mussakhanova, S., Issakulov, B. Investigation of the interaction of the bored micro pile by dds (fdp) technology with the soil ground. International Journal of GEOMATE, 2023, 24(105), pp. 11–17.
12. Sokolova, Y., Akulova, M., Isakulov, B., Sokolova, A., Isakulov, A. The Study of the Impact of Iron and Sulfur Containing Additives on the Strength Properties of Sulfur Containing Binders. Solid State Phenomena, 2022, 334, pp. 195–201.
13. Bazhirov N.S., Dauletiyarov M.S., Bazhirov T.S., Serikbayev B.E., Bazhirova K.N. Research of waste of aluminum production as the raw components in technology of composite cementing materials. News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. ISSN 2224-5278. 2018. Vol. 1, N 427. P. 93-98.
14. Sokolova, Y., Akulova, M., Isakulov, B.R., Sokolova, A., Isakulov, A.B. The study of structure formation and mechanical strength properties of sulfur-containing woodcrete composites exposed to permanently acting loads. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 869 (3), 032005.
15. Sokolova, Y.A., Akulova, M.V., Isakulov, B.R., Kul'sharov, B.B., Isakulov, A.B. The study of creep and deformation properties of sulfur-containing arbolit exposed to various compression stresses. Key Engineering Materials, 2021, 899 KEM, pp. 137–143.
16. Sokolova, YA; Akulova, MV ; Isakulov, BR; Sokolova, AG; Kul'sharov, BB; Isakulov, AB. Detoxication of by-products of oil and gas industry accompanied by obtaining iron and sulfur-containing binders for structural building materials. News of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan-series chemistry and technology. Volume 6 , pp. 2020 , 65-72 . DOI: [10.32014/2020.2518-1491.99](https://doi.org/10.32014/2020.2518-1491.99).

17. Sokolova, Y., Akulova, M., Isakulov, B., Zhekeyev, S., Isakulov, A. The Study of Deformation Properties and Creep of Sulfur-containing Wood Concrete Composites. AIP Conference Proceedings, 2023, 2497, 020031.
18. Features of testing piles for high-rise buildings in difficult soil conditions in Astana. Mussakhanova, S., Zhussupbekov, A., Omarov, A., Abilmazhenov, T., Issakulov, A. International Journal of GEOMATE, 2023, 25(110), Page 106–113.
19. GOST 10181-2000. Interstate standard concrete mixtures test methods Interstate Scientific and Technical Commission for Standardization, Technical Norming and Certification in Construction (ISTCS). Moscow, 2000.
20. GOST 31108-2003. Cements for general construction. Specifications Interstate Scientific and Technical Commission for Standardization, Technical Norming and Certification in Construction (ISTCS). Moscow, 2003.
21. GOST 7473-2010. Interstate standard concrete mixtures. Technical conditions. Moscow, 2012.
22. GOST R 58965-2020. Protection of wood by through impregnation. National standard of the Russian Federation. Approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of August 18, 2020 No 502-st.
23. GOST 9.010-80. Unified system of protection against corrosion and aging. Air compressed for atomization of paint and varnish materials. Technical requirements and methods of control.
24. GOST 12.4.034-2001. System of labor safety standards. Means of individual protection of respiratory organs. Classification and labeling.
25. Method of manufacturing arbolite products with obtaining a base for plaster on their surface. Akulova M.V., Shchepochkina Y.A., Isakulov B.R. Innovation patent of the Russian Federation for invention from 28. 03. 2014, reg. No. 2517308, Moscow, 2014. <https://patentdb.ru/patent/2517308>

**Б.Р. Исакулов¹, Ф.Т. Балмагамбетова¹, А.Р. Сундетова¹,
А.Б. Исакулов², Б.М. Дакір³**

¹Баишев университеті, Ақтөбе, Қазақстан

²Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан

³Қазақ-Орыс Халықаралақ университеті, Ақтөбе, Қазақстан

Арболит бетон композиттерінің физикалық-механикалық сипаттамаларын сұйық күкіртпен терең сіңіру арқылы жақсарту

Аңдатпа. Мақалада балқытылған сұйық күкірттің кеуекті арболит-бетон композиттерінің физикалық-механикалық қасиеттеріне әсері қаралады. Арболит-бетон композиттерін дайындау үшін көлемі 10-нан 40 мм дейінгі кеуекті жүгері собықтары пайдаланылды. Зерттеу нәтижелерін салыстыру үшін біз сондай-ақ 10-нан 20 мм-ге дейінгі көлемдегі жаңғақтың ұсақталған қабығын алып тастадық. Зерттеу жүргізу үшін арболит бетон үлгілерін ерітілген сұйық күкіртпен толық сіңіру әдісі қабылданған. Сіңдіру материалы ретінде күкірт - Қазақстандағы мұнай өндіру қалдықтары пайдаланылды. Зерттеу нәтижелері бойынша арболит-бетон композиттерінің құрамында целлюлозды-

органикалық толтырғыштардың болуының ұлғаюымен сіңдіру ұзақтығына байланысты жеңіл бетонның қысылу беріктігі мен орташа тығыздығының едәуір ұлғаюы байқалады. Сіңірілген арболит-бетон үлгілерінің физикалық-механикалық қасиеттері мен коррозиялық төзімділігі өте жоғары екені анықталды және бұл деректер олардың жер асты және инженерлік құрылыстарда пайдалану үшін ұсынылуы мүмкін екенін көрсетеді.

Түйін сөздер: Өнеркәсіптік күкірт, мұнай өңдеу қалдықтары, үлгілерді сіңдіру, арболит бетон композиттері, кеуекті органикалық толтырғыштар, нығайту, орташа тығыздығы, механикалық беріктігі.

**Б.Р. Исакулов¹, Ф.Т. Балмагамбетова¹, А.Р. Сундетова¹,
А.Б. Исакулов², Б.М. Дакір³**

¹Баишев университет, Ақтобе, Қазақстан

²Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Ақтобе, Қазақстан

³Казахско-Русский Международный университет, Ақтобе, Қазақстан

Повышение физико-механических показателей арболитобетонных композитов путем глубокой пропитки жидкой серой

Аннотация. В статье рассматривается влияние расплавленной жидкой серы на физико-механические свойства пористых арболитобетонных композитов. Для изготовления арболитобетонных композитов использовались пористые отходы кукурузных початков размером от 10 до 40 мм. Для сравнения результатов исследования мы также взяли более плотные отходы растительного происхождения дробленую скорлупу грецкого ореха размером от 10 до 20 мм. Для проведения исследования принят метод полной пропитки арболитобетонных образцов жидкой расплавленной серой. В качестве пропиточного материала использовалась сера - отходы нефтедобычи в Казахстане. По результатам исследования установлено, что с увеличением в составе арболитобетонных композитов содержания целлюлозно-органических заполнителей, происходит значительное увеличение прочности на сжатие и средней плотности легкого бетона в зависимости от продолжительности пропитки. Выявлено, что физико-механические свойства и коррозионная стойкость пропитанных арболитобетонных образцов очень высоки, и эти данные свидетельствуют о том, что они могут быть рекомендованы для использования в подземных и инженерных сооружениях.

Ключевые слова: Промышленная сера, отходы нефтепереработки, пропитка образцов, арболитобетонные композиты, пористые органические заполнители, упрочнение, средняя плотность, механическая прочность.

References

1. Kasimov, I.K. Propitannye plity zavodskoj gotovnosti. Stroitel'stvo i arhitektura Uzbekistana. 1972. № 8. S. 33–39.
2. Mihajlov, K.V. Polimerbetony i konstrukcii na ih osnovy. Moskva: Strojizdat, 1989. 304 s.

3. Orlovskij, YU.I. Beton i izdeliya na osnove serosoderzhashchih othodov. Beton i zhelezobeton. 1995. № 3. S. 21–24.
4. Patureov, V.V. Svoystva i perspektivy primeneniya sernogo betona. Beton i zhelezobeton. 1985. № 5. S. 16–17.
5. Parfenyuk, S.A. Opyt ispol'zovaniya sery i serosoderzhashchih othodov pri ustrojstve asfal'tobetonnyh pokrytij. Avtomobil'nye dorogi. 1987. № 2. S. 16.
6. Patureov, V.V. Tekhnologiya polimerbetonov. Moskva: Strojizdat, 1977. 240 s.
7. Patureov, V.V. Sernye betony, propitannye seroj. Stroitel'nye materialy. Moskva, 1985. C. 59.
8. Isakulov, B.R. Uluchshenie fiziko-mekhanicheskikh svoystv legkih betonov putem propitki seroj-othodom neftegazovoj promyshlennosti Kazakhstana. Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzh'ya. Kazan', 2011. № 4. S. 163–167.
9. Kulsharov, B., Isakulov, B., Sokolova, Y., Akulova, M., Sokolova, A. Slag-alkali lightweight concrete with corn waste aggregate. E3S Web of Conferences, 2023, 457, 01003.
10. Isakulov, B., Abdullaev, H., Mukasheva, A., Akishev, U., Ordabayeva, G. Investigation of the formation of microstructure and strength characteristics of slag-alkaline arbolite. Eureka, Physics and Engineering, 2023, 2023(2), pp. 209–221.
11. Issakulov, A., Omarov, A., Zhussupbekov, A., Mussakhanova, S., Issakulov, B. Investigation of the interaction of the bored micro pile by dds (fdp) technology with the soil ground. International Journal of GEOMATE, 2023, 24(105), pp. 11–17.
12. Sokolova, Y., Akulova, M., Isakulov, B., Sokolova, A., Isakulov, A. The Study of the Impact of Iron and Sulfur Containing Additives on the Strength Properties of Sulfur Containing Binders. Solid State Phenomena, 2022, 334, pp. 195–201.
13. Bazhirov N.S., Dauletiyarov M.S., Bazhirov T.S., Serikbayev B.E., Bazhirova K.N. Research of waste of aluminum production as the raw components in technology of composite cementing materials. News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. ISSN 2224-5278. 2018. Vol. 1, N 427. P. 93-98.
14. Sokolova, Y., Akulova, M., Isakulov, B.R., Sokolova, A., Isakulov, A.B. The study of structure formation and mechanical strength properties of sulfur-containing woodcrete composites exposed to permanently acting loads. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 869 (3), 032005.
15. Sokolova, Y.A., Akulova, M.V., Isakulov, B.R., Kul'sharov, B.B., Isakulov, A.B. The study of creep and deformation properties of sulfur-containing arbolit exposed to various compression stresses. Key Engineering Materials, 2021, 899 KEM, pp. 137–143.
16. Sokolova, YA; Akulova, MV ; Isakulov, BR; Sokolova, AG; Kul'sharov, BB; Isakulov, AB. Detoxication of by-products of oil and gas industry accompaniied by obtaining iron and sulfur-containing binders for structural building materials. News of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan-series chemistry and technology. Volume 6 , pp. 2020 , 65-72 . DOI: 10.32014/2020.2518-1491.99.
17. Sokolova, Y., Akulova, M., Isakulov, B., Zhekeyev, S., Isakulov, A. The Study of Deformation Properties and Creep of Sulfur-containing Wood Concrete Composites. AIP Conference Proceedings, 2023, 2497, 020031.
18. Features of testing piles for high-rise buildings in difficult soil conditions in Astana. Mussakhanova, S., Zhussupbekov, A., Omarov, A., Abilmazhenov, T., Issakulov, A. International Journal of GEOMATE, 2023, 25(110), Page 106–113.

19. GOST 10181-2000. Interstate standard concrete mixtures test methods Interstate Scientific and Technical Commission for Standardization, Technical Norming and Certification in Construction (ISTCS). Moscow, 2000.
20. GOST 31108-2003. Cements for general construction. Specifications Interstate Scientific and Technical Commission for Standardization, Technical Norming and Certification in Construction (ISTCS). Moscow, 2003.
21. GOST 7473-2010. Interstate standard concrete mixtures. Technical conditions. Moscow, 2012.
22. GOST R 58965-2020. Protection of wood by through impregnation. National standard of the Russian Federation. Approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of August 18, 2020 No 502-st.
23. GOST 9.010-80. Unified system of protection against corrosion and aging. Air compressed for atomization of paint and varnish materials. Technical requirements and methods of control.
24. GOST 12.4.034-2001. System of labor safety standards. Means of individual protection of respiratory organs. Classification and labeling.
25. Method of manufacturing arbolite products with obtaining a base for plaster on their surface. Akulova M.V., Shchepochkina Y.A., Isakulov B.R. Innovation patent of the Russian Federation for invention from 28. 03. 2014, reg. No. 2517308, Moscow, 2014. <https://patentdb.ru/patent/2517308>

Information about the authors:

Isakulov B.R. - first author and author for correspondence, doctor of technical sciences, professor-researcher of the department "Science and Innovation" of the institution "Baishev University", 302A Br. Zhubanov str., 030000, Aktobe, Kazakhstan.

Balmagambetov F.T. - candidate of technical sciences, associate professor of the department "Information systems" of the institution "Baishev University", 302A Br. Zhubanov str., 030000, Aktobe, Kazakhstan.

Sundetova A.R. - Master of Engineering, head of the educational program "Information Systems" of the institution "Baishev University", 302A Br. Zhubanov str., 030000, Aktobe, Kazakhstan.

Isakulov A.B. - Master of Engineering, teacher of the department of "Transport engineering, organization of transportation and construction" of Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, A. Moldagulova ave. 34, 030000, Aktobe, Kazakhstan.

Dakir B.M. - Master of Engineering, teacher of the department of "Technical and natural-scientific disciplines" of Kazakh-Russian International University, 030006, Aktobe, Aiteke bi str. 52, Kazakhstan.

Исакулов Б.Р. – бірінші автор және корреспонденция авторы, техника ғылымдарының докторы, "Байшев университеті" мекемесінің "Ғылым және инновация" департаментінің зерттеуші профессоры, Ақ. Жұбановтар 302А, 030000, Ақтөбе, Қазақстан.

Балмағамбетов Ф.Т. - техника ғылымдарының кандидаты, "Баишев университеті" мекемесінің "Ақпараттық жүйелер" кафедрасының доценті, Ағ. Жұбановтар 302А, 030000, Ақтөбе, Қазақстан.

Сундетова А.Р. - техника магистрі, "Баишев университеті" мекемесінің "Ақпараттық жүйелер" білім беру бағдарламасының жетекшісі, Ағ. Жұбановтар 302А, 030000, Ақтөбе, Қазақстан.

Исакулов А.Б. - техника магистрі, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университетінің "Көлік техникасы, тасымалдауды ұйымдастыру және құрылыс" кафедрасының оқытушысы. 030000, Ақтөбе қаласы, А. Молдағұлова даңғылы, 34, Қазақстан.

Дакір Б.М. – Қазақ-Орыс Халықаралық университетінің техника магистрі, "техникалық және жаратылыстану-ғылыми пәндер" кафедрасының оқытушысы, 030006, Ақтөбе қ., Әйтеке би к-сі, 52, Қазақстан.

Исакулов Б.Р. – первый автор и автор для корреспонденции, доктор технических наук, профессор-исследователь департамента «Наука и инновация» учреждения «Баишев университет», ул. Бр. Жубановых 302А, 030000, Актобе, Казахстан.

Балмағамбетов Ф.Т. – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы» учреждения «Баишев университет», ул. Бр. Жубановых 302А, 030000, Актобе, Казахстан.

Сундетова А.Р. – магистр техники, руководитель образовательной программы «Информационные системы» учреждения «Баишев университет», ул. Бр. Жубановых 302А, 030000, Актобе, Казахстан.

Исакулов А.Б. – магистр техники, преподаватель кафедры «Транспортной техники, организация перевозок и строительство» Актюбинского регионального университета им. К. Жубанова, пр. А. Молдагуловой д. 34, 030000, Актобе, Казахстан.

Дакір Б.М. – магистр техники, преподаватель кафедры «Технических и естественно-научных дисциплин» Казахского-Русского Международного университета, 030006, г. Актобе, ул. Айтеке би, 52, Казахстан.



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



XҒТАР 55.01.37
Ғылыми мақала

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-151-2-77-92>

СББ станоктарында сұр шойынды өңдеу: мәселелер, математикалық модельдеу

Т.М.Бузауова*  , А.Е.Бусурманова 

«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Қарағанды,
Қазақстан

E mail: toty_77@mail.ru

Аңдатпа. Мақалада сандық бағдарламамен басқарылатын (СББ) токарь станогында сұр шойын СШ20 әзірленген бөлшекті механикалық өңдеу, беттің кедір-бұдырлығы, микроқұрылымындағы өзгерістеру ерекшеліктері ескерілген кешенді зерттеу жүргізілген. Зерттеу барысында механикалық өңделген беттің кедір-бұдырлығы (Ra), Виккерс бойынша қаттылығы және сұр шойынның құрамындағы графиттік қосындылар сипаттары өлшенді. Жүргізілген зерттеулер кесу жылдамдығы 3000 об/мин болғанда өңделген бетте цементитті ақ аймақтың қалыптасатынын және қаттылықтың 261,5 НВ жоғарылайтынын көрсетті. Ал төмен жылдамдықта өңделген беттерде графиттің айтарлықтай өзгеруі байқалмайды, яғни ферритті-перлитті құрылымы сақталған. Регрессиялық сараптаманы қолдана отырып жүргізілген математикалық моделдеу беттің кедір-бұдырлығы мен қаттылығына әсер ететін маңызды технологиялық факторларды анықтады. Тұрғызылған математикалық модель өңдеу режимдеріне байланысты беттің кедір-бұдырлығын болжауға және өңдеудің технологиялық үрдісін тиімділеуге мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер жоғары қаттылықпен және тозуға төзімді беттерді әзірлеу үшін сұр шойынды өңдеу кезінде материалдың микроқұрылымы мен қасиеттерін мақсатты басқару мүмкіндігін көрсетеді. Бұл әсіресе қарқынды үйкеліс және жоғары жүктеме жағдайында жұмыс істейтін айналу денесі тәрізді (біліктер) бөлшектерді әзірлеу үшін өзекті. Жұмыста ұсынылған әдістемелер термиялық өңдеу шығындарын азайтуға және дайын өнімнің сапасын жақсартуға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: сұр шойын, кедір-бұдырлық, кесу режимдері, СББ токарлық станок, математикалық модельдеу, микроқұрылымдық талдау

Кіріспе

Беттің кедір-бұдырлығы металл кесетін станоктарда бөлшектерді өңдеудегі негізгі параметрлердің бірі болып табылады. Беттің сапасы өнімнің сенімділігіне, беріктігіне және өнімділігіне тікелей әсер етеді. Кедір-бұдырлықтың жобалық талаптарға сәйкес келмеуі бөлшектердің мерзімінен бұрын істен шығуына, олардың функционалдығының төмендеуіне, ауыстыру немесе жөндеу қажеттілігіне байланысты пайдалану шығындарының өсуіне әкелуі мүмкін [1, 2]. Сандық бағдарламамен басқарылатын (СББ) станоктар цилиндрлік және конустық беттерді өңдеу, ойықтар мен тесіктер жасау үшін кеңінен қолданылады. СББ станоктары өңдеудің жоғары дәлдігін және нәтижелердің қайталануын қамтамасыз етеді. Осы арқылы СББ станоктар сериялық өндірісте таптырмас технология болып табылады [3, 4, 5]. Сұр шойын СББ станоктарында өңдеуге күрделі материал болып табылады, ол морт сынғыш және құрамында графит қосындылары бар. Материалдың бұл ерекшеліктері өңдеуде қиындықтар туғызады, кескіш құралдың тез тозуына әкеледі және беттің белгіленген кедір-бұдырлығына қол жеткізу күрделі [6, 7, 8].

Шойынды өңдеудегі басты мәселе ол қаттылық пен морт сынғыштық. Сұр шойын оңай өңделеді, бірақ кесу құралдарының тозуын шапшаңдататын сынғыш абразивті жоңқаларды шығарады. Сондықтан сұр шойынды механикалық өңдеуге кесу жиектері вольфрам карбидінің жабдықталған кескіш құралдарды қолданады және құралдар мүмкіндігінше ұзақ қызмет ете алатындай, бетінің дұрыс сапасын сақтай алатындай етіп оңтайландырылған өңдеу стратегияларына сүйенеді [9]. Шойынды жону, фрезерлеу, бұрғылау және ажарлау сияқты операциялармен механикалық өңдейді. Ал әр механикалық өңдеу кесу, майлау құралдарын таңдау параметрлері тұрғысынан ерекше тәсілді қажет етеді [10, 11].

Әдеби шолуды талдай отырып, сұр шойынды өңдеу кезінде қажетті кедір-бұдырлық көрсеткішіне жету үшін кесу режимдерін мұқият таңдау керек екендігі анықталды. Сондықтан, кесудің оңтайлы параметрлерін анықтау үшін сұр шойынды өңдеу кезінде кесу режимдерінің бетінің сапасына әсерін егжей-тегжейлі талдау қажет.

Зерттеудің мақсаты: СББ токарлық станокта өңдеу кезінде кесу режимдерінің бет сапасына әсерін бағалау.

Әдіснама

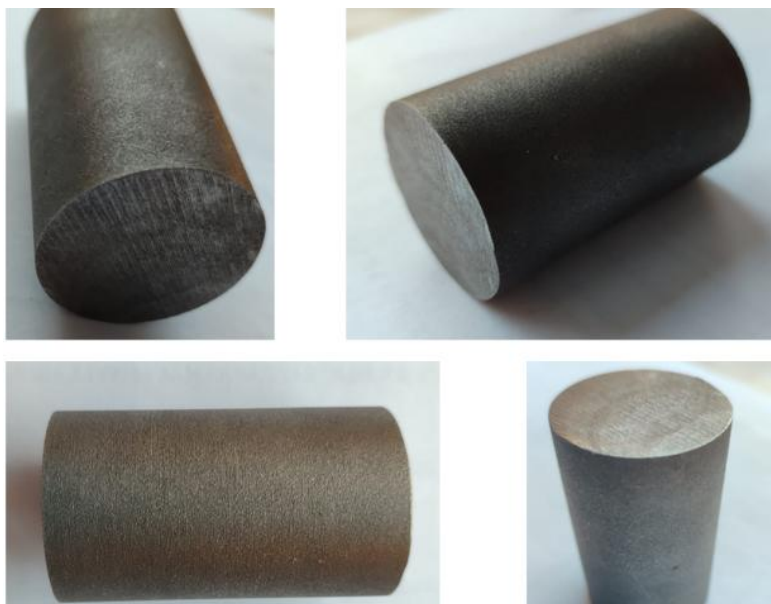
Мақсатқа жету үшін келесі әдістер қолданылады:

1. Сұр шойынды СББ станоктарында өңдеудің қолданыстағы тәсілдері мен тәжірибесін зерттеуге арналған әдеби шолу.
2. Сұр шойыннан әзірленген дайындама СББ KDCK-25S CNC токарь станогында әртүрлі кесу мәзірлерлерімен механикалық өңделді.
3. Өңделген беттің кедір-бұдырлығы (тегіссіздіктер профилінің орташа арифметикалық ауытқуы - Ra) TR220 - портативті профилометр көмегімен бағаланды.
4. Виккерс шкаласы бойынша микроқаттылық Wilson VH1150 аспабында анықталды.
5. Микроқұрылымды зерттеу мақсатымен үлгілер Laborol-5 машинасында ажарланды.
6. Ажарланған үлгілер азот қышқылында (HNO_3) өңделіп, БИОМЕД ММР-1 микроскобында микроқұрылымы зерттелді.

Эксперименттік зерттеулер

СШ20 маркалы сұр шойыннан әзірленген өлшемі $\varnothing 40\text{мм}$, $L=65\text{ мм}$ дайындама

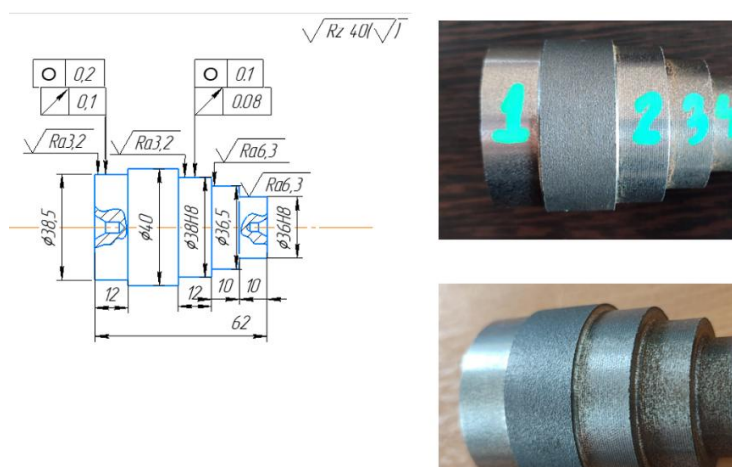
(1 сурет) таңдалды, жұмыс сызбасына сәйкес (2 сурет) сыртқы беттерді жону сандық бағдарламамен басқарылатын KDCK-25S CNC токарлық станокта (3 сурет), келесі кесу режимдерімен жүргізілді: өңдеу жылдамдығы $\vartheta = 900; 2000; 3000$ айн/мин, беріліс тұрақты $S = 0,2$ мм/айн; кесу тереңдігі $t = 1,5; 0,5$ мм.



1-сурет. СШ20 дайындамасы

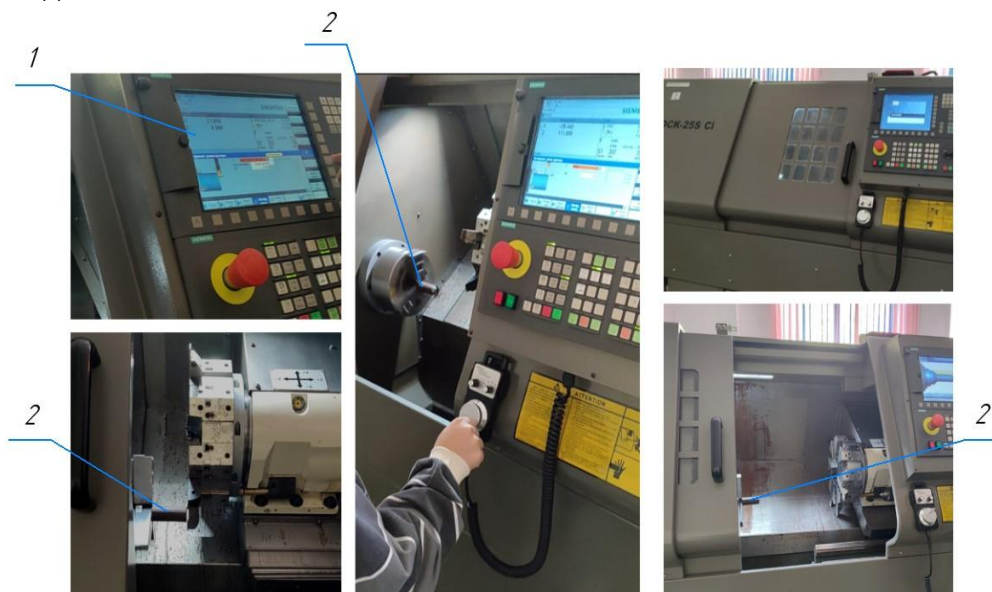
Кедір-бұдырлық пен қаттылықты анықтау.

Өңделген беттердің кедір-бұдыр параметрі Ra портативті TR220 кедір-бұдыр өлшегіште (4 сурет) өлшенеді.



2-сурет. Жұмыс сызбасы мен өңделген бөлшек

Байланыс зонды гауһар ұшымен қозғалу өлшенетін бетке түсіп, бөліктің осі бойымен қозғалады



3-сурет. Станокта механикалық өңдеу:

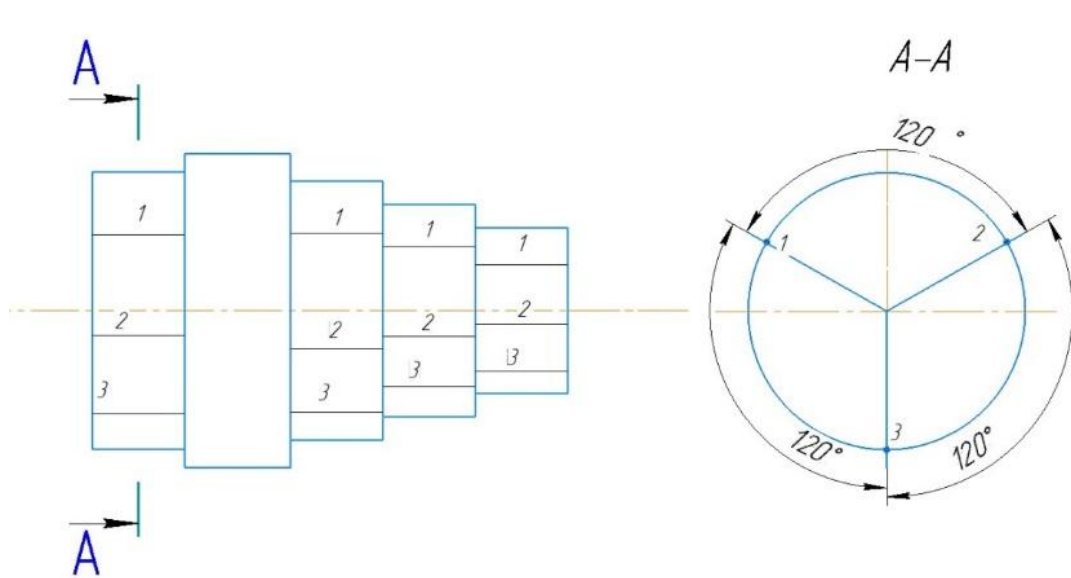
1 – басқару тақтасы; 2 – өңделген бөлшек

Зондтан алынған мәліметтер кірістірілген TR220 электроникасында өңделеді және құрылғының дисплейіне кедір-бұдыр параметрлерінің сандық мәндері ретінде көрсетіледі.



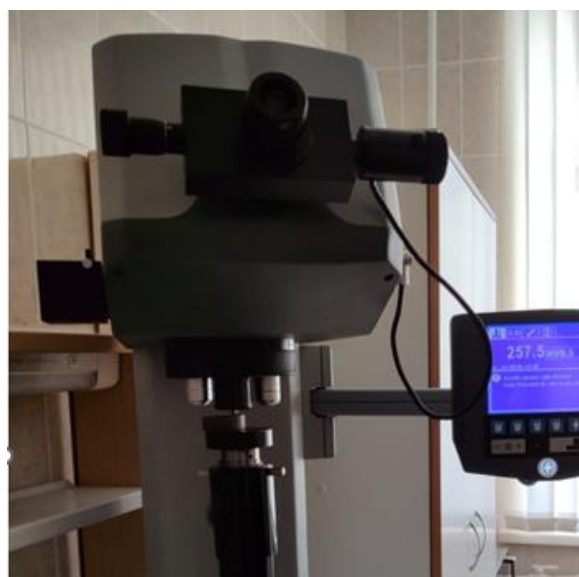
4-сурет. TR220 портативті өлшегіштегі беттің кедір-бұдырын өлшеу

Құрылғының көрсеткіштерін тіркеуді және бөліктің беткі құрылымының мүмкін гетерогенділігін ескере отырып, кедір-бұдырды сенімді бағалау үшін әр мойынның үш негізгі бөлігінде Ra кедір-бұдыр параметрі (5 сурет) анықталады.



5-сурет. Беттің кедір-бұдырын өлшеу схемасы

Қаттылықты Виккерс шкаласымен Wilson VH1150 қаттылық өлшейтін құрылғымен өлшенді (6 сурет).



6-сурет. Қаттылық өлшейтін Wilson VH1150 құрылғысында қаттылықты өлшеу

Микроқұрылымдық талдау.

Микроқұрылымдық талдау үшін өңделген бөлік үлгілерге кесілді (7 сурет), 1-кестеде сипатталған технологияға сәйкес үлгілер Laborol-5 (8 сурет, а, ә, б) машинасында ажарланды.



7-сурет. Экспериментке арналған үлгілер

Үлгілердің бір бөлігі HNO_3 азот қышқылымен өңделді (8 сурет, в). Дайындалған үлгілер БИОМЕД ММР-1 (9 сурет) микроскопында зерттелді.

1-кесте. Тегістеуді дайындау

Қадам	Тегістеу (PG)	Жұқа тегістеу (FG)	Алмаспен тегістеу (DP)	Оксидті жылтырату (OP)
Диск түрі	MD-Piano220	MD-Allegro	MD-Dac	MD-Chem
Аспа түрі	Cy	9 мкм алмазды суспензия	3 мкм алмасты суспензия	OP-A
Майлаушы	-	Жасыл/көгілдір	Жасыл/көгілдір	-
Дисктің айналу жылдамдығы (айн/мин)	300	150	150	150
Күш (Н)	240	180	180	90
Дайындау уақыты (мин)	Тігістелгенге дейін	4	4	2

Микроқұрылым параметрлерін анықтау.

Инверттелген Биомед ММР-1 металлографиялық микроскопын қолдана отырып, сұр шойынға микроқұрылымдық талдау жүргізгеннен кейін графит құрылымын сипаттайтын маңызды көрсеткіштер зерттелді:

-графит аймақтарының саны (N_g , дана) бұл көру аймағындағы графит қосындыларының саны, ол ImageJ 1.54hx64 кескіндерді талдауға арналған арнайы бағдарламалық құралды пайдалану арқылы анықталды. Дәлдікті арттыру үшін микроқұрылымның біртектілігі әртүрлі дәрежедегі учаскеде таңдалды.

-әрбір графитті қосылудың орташа ауданы (S_{avg} , μm^2) бір көру өрісіндегі 25-графитті бөлшектер ауданының өлшемін талдау негізінде 1-формуламен есептелді. Бұл үшін микроструктураның түсірілімдері кескінді бинаризациялау шегінің көмегімен металл матрицаның аясында графит аумағын бөліп көрсететін бағдарламаны пайдалана отырып өңделді.

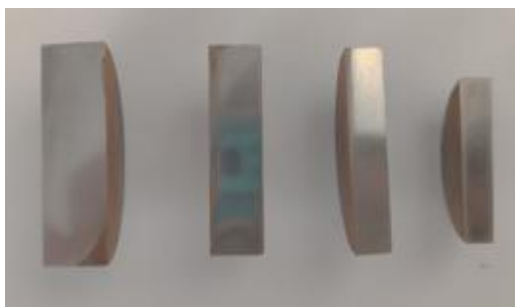
Графиттің жалпы ауданы (A_g , μm^2) (2) формула бойынша берілген талдау аймағындағы барлық графитті кірісті аудандарының қосындысы ретінде есептелді. Бұл көрсеткіш зерттелетін үлгідегі графиттің көлемдік құрамын сипаттайды



а)



ә)



б)



в)

8-сурет. Микроқұрылымдық талдау үшін үлгілерді дайындау:
а – дайындау; ә – жылтырату; б – талдау үшін үлгілер; в – азот қышқылымен өңделген үлгілер

Микроқұрылымның суреттері жарық өрісте x200 үлкейту кезінде алынды.

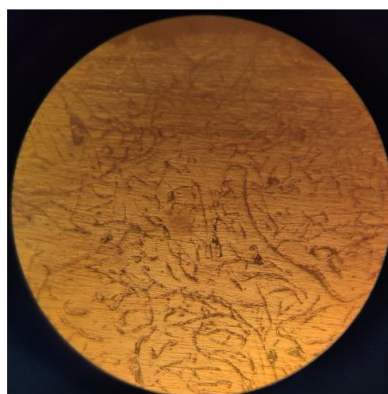


9-сурет. БИОМЕД ММР-1 микроскобында микроқұрылымдық талдау

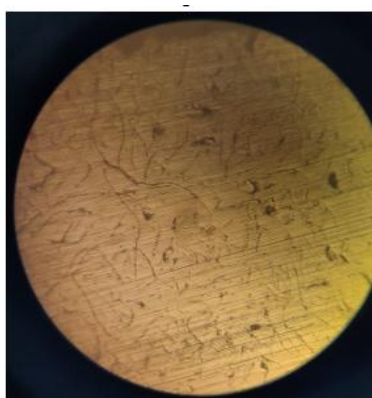
Әрбір көру өрісі үшін суреттер микроскопқа салынған камераның көмегімен түсірілді (10 сурет).



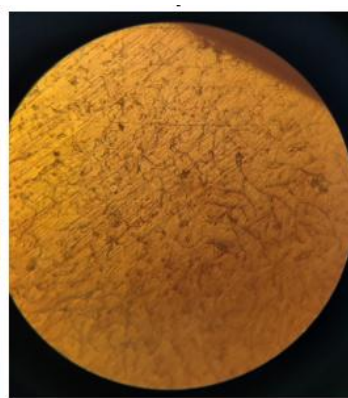
а)



ә)



б)



в)

10-сурет. Үлгілерді 200 есе ұлғайта отырып микроқұрылымдық талдау нәтижелері: а – бірінші; ә – екінші; б – үшінші; в – төртінші

Суреттерді талдау үшін объектілердің ауданын өлшеуге мүмкіндік беретін ImageJ 1.54hx64 бағдарламасы қолданылды. Бағдарлама автоматты түрде қосу санын (N_g) және олардың аудандарын анықтайды (S_i , мұндағы $i=1,2,3,...,N_g$).

Графит аймақтарының орташа ауданы келесі формула бойынша есептеледі:

$$S_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^{N_g} S_i}{N_g} \quad (1)$$

Графиттің жалпы ауданы:

$$A_g = \sum_{i=0}^{N_g} S_i \quad (2)$$

Микроқұрылымды талдау нәтижелері бойынша сұр шойындағы графиттің таралуын бағалауға мүмкіндік беретін параметрлер есептелді (2 кесте), бұл оның механикалық қасиеттері мен жылу өткізгіштігіне әсер ететін негізгі фактор болып табылады.

2-кесте. Өлшеу және есептеу нәтижелері

№	Кесу жылдамдығы, айн/мин	Кесу тереңдігі, мм	Қаттылық, НВ	$N_g, \mu\text{m}^2$	$S_{avg}, \mu\text{m}^2$	$A_g, \mu\text{m}^2$
1	-	-	255	8	218,31	1745,5
2	900	0,5	257,1	6	279,83	1968,0
3	2000	1,5	256,1	10	204,3	1 225,0
4	3000	0,5	261,5	12	393,7	2 181,0

Регрессиялық талдау

Айнымалылар арасындағы тәуелділікті анықтау үшін біз регрессиялық талдау жүргіземіз, ол анықталған заңдылықтар негізінде нәтижелерді болжауға мүмкіндік беретін деректерді математикалық өңдеудің негізгі әдістерінің бірі. Осы зерттеу кезінде бұл талдау технологиялық параметрлер (өңдеу режимдері) мен материалдың қаттылығы, беттің кедір-бұдырлығы және микроқұрылымдық өзгерістер сияқты қорытынды сипаттамалар арасындағы байланысты талдау үшін қолданылады.

Регрессиялық талдаудың мақсаты өңделген материалдың қасиеттеріне әсер ететін негізгі факторларды анықтау және осы тәуелділіктерді сипаттайтын математикалық модель құру болып табылады. Бұл тәсіл дайын өнімнің сапасын жақсартып отырып, технологиялық процестерді оңтайландыруға мүмкіндік береді. Бірінші үлгі ($\varnothing 40\text{мм}$) механикалық өңделмегендіктен регрессиялық талдау кезінде ескерілмеген. Қалған әр өңделген беттің кедір-бұдырлығы (y) үш рет өлшенді. Экспериментті жоспарлаудың бастапқы деректері 3-кестеде келтірілген.

z_1 – өңдеу жылдамдығы, айн/мин. $z_1^- = 900, z_1^+ = 3000$

z_2 – кесу тереңдігі, мм. $z_2^- = 0,5, z_2^+ = 1,5$

z_3 – қаттылық, НВ. $z_3^- = 256,1, z_3^+ = 261,5$

z_4 – графит аймақтарының саны (N_g), μm^2 . $z_4^- = 6, z_4^+ = 12$

z_5 – графит аймағының орташа ауданы (S_{avg}), μm^2 $z_5^- = 204,3, z_5^+ = 393,7$

z_6 – графиттің жалпы ауданы (A_g), μm^2 . $z_2^- = 1225, z_2^+ = 2181$

y – беттің кедір-бұдырлығы, мкм.

3-кесте. Экспериментті жоспарлауға арналған бастапқы деректер

Эксперимент №	Зерттелетін факторлар						Тәжірибе нәтижелері		
	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	y_1	y_2	y_3
1	900	0,5	257,1	6	279,83	1968,0	6,3	6,3	5
2	2000	1,5	256,1	10	204,3	1 225,0	6,3	5	4
3	3000	0,5	261,5	12	393,7	2 181,0	3,2	2	2,5

Әрбір фактор үшін (3) формула бойынша центрді анықтаймыз, кодталған айнымалының x_i өзгеру аралығын және берілген z_i -ге тәуелділігін табамыз. Нәтижелерді кесте түрінде жазамыз (4 кесте).

$$x_i = \frac{z_i - z_i^0}{\lambda_i} \quad (3)$$

мұнда z_i^0 – центр, λ_i – өзгеру аралығы.

4-кесте. Факторларды кодтау

Факторлар	Жоғарғы деңгей z_i^+	Төменгі деңгей z_i^-	Центр z_i^0	Өзгеру аралығы λ_i	Кодталған айнымалының берілгендегі мәніне тәуелділігі
z_1	2000	900	1450	550	$x_1 = z_1 - 1450/550$
z_2	1,5	0,5	1	0,5	$x_2 = z_2 - 1/0,5$
z_3	261,5	256,1	258,8	2,7	$x_3 = z_3 - 258,8/2,7$
z_4	12	6	9	3	$x_4 = z_4 - 9/3$
z_5	393,7	204,3	299	94,7	$x_5 = z_5 - 299/94,7$
z_6	2181	1225	1703	478	$x_6 = z_6 - 1703/478$

Барлық өзара әрекеттесулерді және жауаптың орташа мәндерін ескере отырып жоспарлау матрицасын құрамыз (5 кесте).

5-кесте. Нәтижелерді өңдеуге арналған жоспарлау матрицасы

Эксперимент №	Факторлар						Өзара әрекеттесу							Тәжірибе нәтижелері			Нәтижелердің орташа мәні y_j
	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x1x2	x1x3	x1x4	x1x5	x1x6	x1...6	y1	y2	y3		
1	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	6,3	6,3	5	5,86	
2	-	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	-	6,3	5	4	5,1	
3	+	-	+	+	+	+							3,2	2	2,5	2,56	

Регрессия теңдеуінің коэффициенттерін, қайталану дисперсиясын (4), (5) формулалар бойынша есептейміз. Есептеу нәтижелері 6-кестеде келтірілген.

$$b_0 = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \bar{y}_j; b_j = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 x_j \bar{y}_j \quad (4)$$

Қайталану дисперсиясы:

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n S_j^2 \quad (5)$$

6-кесте. Есептің нәтижелері

j	$\bar{y}_j$	$(y_{j1} - \bar{y}_j)^2$	$(y_{j2} - \bar{y}_j)^2$	$(y_{j3} - \bar{y}_j)^2$	S_j^2
1	5,86	0,1936	0,1936	0,7921	0,589
2	5,1	0,44	0,01	1,21	0,83
3	2,56	0,4096	0,3136	0,0036	0,3634

Кодталған айнымалылардағы регрессия теңдеуін аламыз:

$$y = -0,740 + 0,5621x_4 \quad (6)$$

Натурал айнымалыларда регрессия теңдеуінің (6) x_1 орнына 4-кестенің соңғы бағанының бірінші жолынан алынған z_i өрнектерін ауыстырып жазамыз:

$$y = -0,740 + 0,5621 \left(\frac{z_4 - 9}{3} \right)$$

Бұл теңдеуді түрлендіре отырып регрессиялық теңдеуді аламыз:

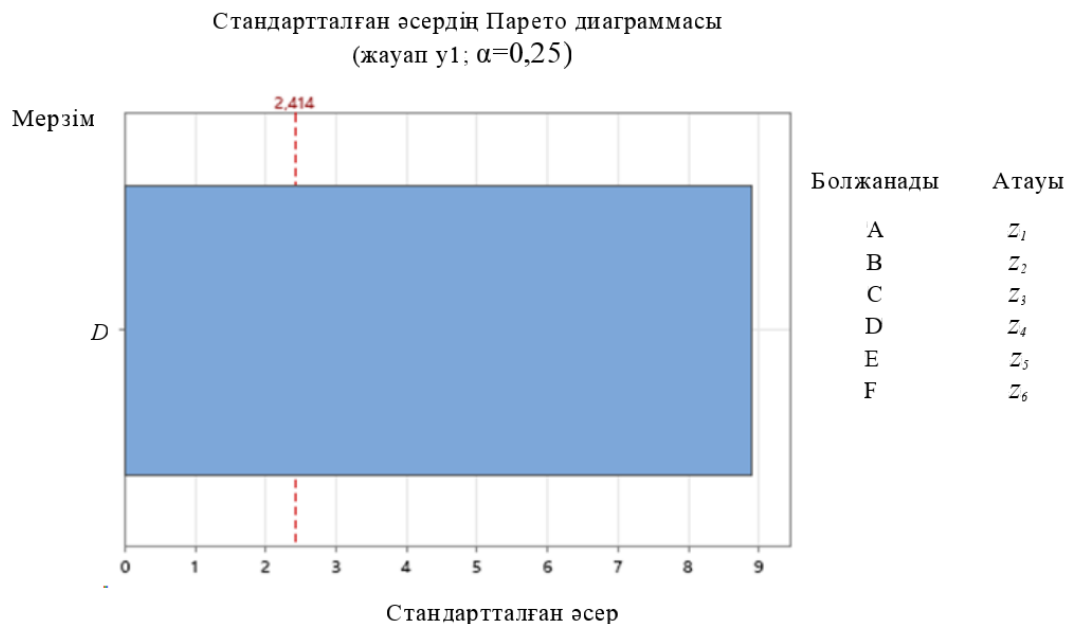
$$y = 0,187z_4 - 2,43 \quad (9)$$

Нәтижелер және талқылау

Үлгілердің кесу аймағындағы құрылымын өзгерту механизмі (10-сурет), кесу кезіндегі сұр шойынның графитті қосындыларының пішіні мен сипаты бірнеше факторлармен байланысты: жылудың әсері, механикалық деформация, үйкеліс және кескіш құралмен өзара әрекеттесу. 4-үлгіде анықталған ақ аймақ мынаны көрсетеді, яғни графиттегі көміртек аустенит матрицасында еріп, темірмен әрекеттеседі, нәтижесінде цементит – Fe_3C (кесу аймағындағы температура 1000°C) түзіледі. Бұл температурада, яғни, бет аустениттік күйде болғанда графит феррит және перлитті матрицада ериді, көміртекпен қаныққан матрица тез салқындаған кезде карбидтердің бөлінуіне бейім болады. Сонымен қатар, жоғары қысым, кесу аймағындағы деформацияға ықпал етеді, бұл көміртектің диффузиясына және карбидтердің түзілуіне ықпал етеді. Кесу аймағында цементиттің пайда болуы қаттылықтың жоғарылауына әкеледі (261,5HB), өйткені цементит графит немесе перлит құрылымына қарағанда едәуір қатты. Басқа үлгілердегі құрылымдық өзгерістер анықталмады, өйткені 3000 айн/мин - нен төмен жылдамдықта бөлінген жылу көлемі аз болғандықтан, сұр шойынның бастапқы құрылымы сақталған.

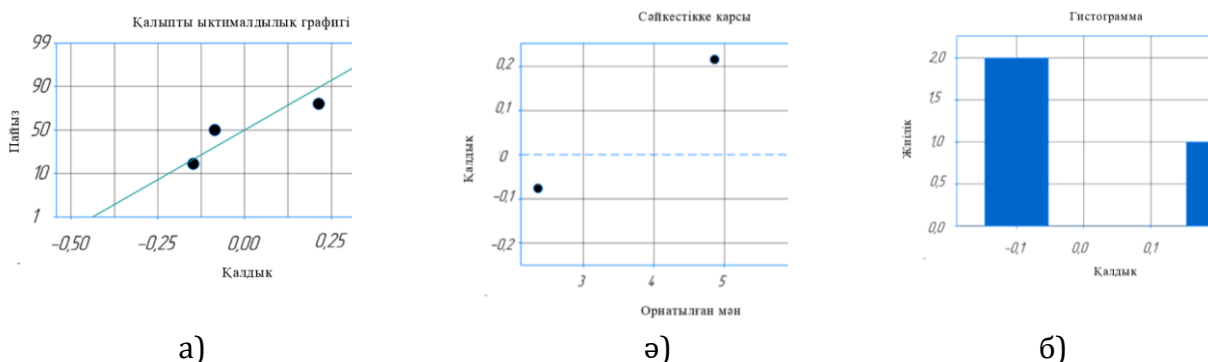
Жоғары жылдамдықпен өңделу кезінде пайда болған бет шойыннан әзірленген жоғары үйкеліс жағдайында жұмыс істейтін бөлшектер үшін тиімді жағдай.

Регрессия моделіндегі факторлардың маңыздылығын бағалау үшін Парето диаграммасы қолданылды. Графикте (11 сурет) көлденең ось бойынша стандартталған әсер (фактор үлесінің шамасы), ал тік осьте - факторлар (z_1, z_2, z_3 және т.б.) көрсетіледі.



11-сурет. Парето диаграммасы

Қызыл тік сызық критикалық мәнді (бұл жағдайда 2,414) көрсетеді. Бұл мән сенімділік деңгейіне (95%) негізделген маңыздылық шегін анықтайды. Егер фактор бағанасы қызыл сызықты кесіп өтсе онда бұл фактор статистикалық маңызды. Графиктен D факторы (z_4 - графит аймақтарының саны) маңызды болғанын көруге болады. Қалған факторлар (мысалы, $z_1, z_2, z_3 \dots z_6$) берілген модельде маңызды емес.



12-сурет. Беттің кедір-бұдырлығының орташа көрсеткішінің қалдық графиктері

Қалдық графигі арқылы (сурет.12) регрессиялық модельді тексереміз. Қалыпты ықтималдық графигіндегі (12 сурет, а) нүктелер диагональды сызыққа жақын орналасқан,

яғни қалдықтардың таралуы қалыпты. Болжалды мәндерге қарсы қалдық графигінде (12 сурет, ә) қалдықтар көлденең ($y = 0$) сызықтың айналасында қалдықтар кездейсоқ көрінеді, бұл модельдің дұрыстығын растайды. Қалдықтардың таралуын сипаттайтын (12, б -сурет) гистограмма бойынша олар симметриялы және таралуы қалыптыға жақын.

Қорытынды

1. СББ токарлық станогында СШ20 сұр шойын бетінің сапалық сипаттамалары мен кесу режимдері арасында байланыс орнатылды. Оңтайлы режимдер кедір-бұдырды азайтуға және материалдың микроқұрылымын жақсартуға мүмкіндік береді.

2. СШ20 сұр шойын дайындамаларын қолдана отырып кешенді эксперимент жүргізілді. 900, 2000 және 3000 айн/мин кесу жылдамдығындағы беттің кедір-бұдырлық параметрлері, Виккерс қаттылығы және микроқұрылымдық өзгерістер зерттелді.

3. Кесу жылдамдығы 3000 айн/мин кезінде өңделген бетте цементитті ақ аймақ пайда болады, ол беттің қаттылығын 261,5 НВ дейін арттырып, оның тозуға төзімділігін жоғарылатады. Бұл құбылыс термомеханикалық процестерге, соның ішінде графиттің еруіне және карбидтердің түзілуіне байланысты.

4. Регрессиялық талдау (9) шойын құрылымындағы графит аймақтарының саны (N_g) беттің кедір-бұдырына әсер ететін маңызды фактор екенін көрсетті. Математикалық модель кедір-бұдырлықты технологиялық параметрлермен байланысты болжауға мүмкіндік береді.

5. Микроқұрылымдық талдау жоғары кесу жылдамдығында үйкеліс және жоғары жүктеме жағдайында жұмыс істейтін біліктер мен берілістер сияқты бөлшектер үшін пайдалы болуы мүмкін жаңа фазалық құрылым пайда болатынын растады.

6. Эксперименттік мәліметтер ұсынылған әдістердің тиімділігін растады, бұл дайын өнімнің сапасын жақсарту және термиялық өңдеу шығындарын (шынықтыру, жақсарту) азайту үшін механикалық өңдеу процестерін оңтайландыруға мүмкіндік берді.

Алғыс, мүдделер қақтығысы

Авторлар мүдделі қақтығыстардың жоқтығын растайды.

Авторлардың қосқан үлесі

Бузауова Т.М. – сұр шойынды өңдеу бойынша тәжірибелік зерттеулер жүргізді, үлгілерді дайындап, микроқұрылымды микроскоп арқылы зерттеу жұмыстарын орындады, өңдеу процесін математикалық тұрғыдан модельдеді, мақаланы жазды.

Бусурманова А.Е.- алынған деректерді Minitab бағдарламасында өңдеді және графиктерді құрды.

Әдебиеттер тізімі

1. Osama Khayal. Literature review on lathe machine // Nile Valley University. – 2019. - Vol. 1. – P 32.Das
2. S. R.Mahapatra S. S., Sahoo S. K. Surface Roughness Model for Turning Grey Cast Iron // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture – 1993. - Vol. 2. – P. 292-304.

3. Lina Zhang, Aldrin D. Calderon. Research and prospects of CNC lathe // Zheng Zhou Business University. – 2024. - Vol. 3. – P. 8.
4. Ivanov I.I., Petrov P.P. Vliyanie parametrov obrabotki na sherohovatost' poverhnosti pri frezerovanii s CHPU // Journal of Manufacturing Processes. – 2018. – № 15. – S. 10-12.
5. Smirnova A.A., Kuznecov D.D. Analiz faktorov, vliyayushchih na kachestvo poverhnosti pri tokarnoj obrabotke s CHPU // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2019. – № 2. – S. 294-296.
6. Li H., Zhang V. Optimization of cutting modes to improve surface quality in CNC drilling // Precision Engineering. – 2020. - Vol. 10. – P. 25-28.
7. Johnson M., Williams R. Modeling and forecasting of surface roughness during CNC grinding // Journal of Materials Processing Technology. – 2017. - Vol. 7. – P. 14.
8. Kim S., Park J. The effect of tool wear on surface quality during CNC milling // Precision Engineering. – 2024. - Vol. 25. – P. 487.
9. Gonzalez L., Rodriguez F. Analysis of vibrations and their effect on surface roughness during CNC turning. Mechanical Systems and Signal Processing // Precision Engineering. – 2021. - Vol. 46. – P. 76.
10. Chen Yu., Lee K. Application of machine learning methods to predict surface roughness during CNC machining // Journal of Intelligent Manufacturing. – 2022. - Vol. 48. – P. 1030.
11. Ahmed N., Hussein M. The effect of coolants on surface roughness in CNC machining // Tribology International. – 2015. - Vol. 26. – P. 131.

Т.М. Бузауова*, А.Е Бусурманова

*НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»,
Караганда, Казахстан*

**Механическая обработка серого чугуна на станках с ЧПУ: проблемы,
математическое моделирование**

Аннотация. В работе проведен комплексный анализ особенностей механической обработки серого чугуна марки СЧ20 на токарных станках с ЧПУ, с акцентом на шероховатость поверхности, микроструктурные изменения и оптимизацию технологических параметров. Исследования включали использование современных измерительных приборов для оценки параметров шероховатости (Ra), твердости по Виккерсу (HV) и характеристик графитовых включений в структуре материала. Проведенные эксперименты показали, что увеличение скорости резания до 3000 об/мин приводит к формированию цементитной белой зоны в зоне резания, что повышает твердость поверхности до 261,5 HV и улучшает её износостойкость. В то же время низкие скорости резания сохраняют ферритно-перлитную структуру без значительных изменений графита. Математическое моделирование, выполненное с использованием регрессионного анализа, выявило ключевые технологические факторы, влияющие на шероховатость и микроструктуру. Наибольшее значение в модели имеет количество графитовых областей (Ng), что подтверждается диаграммой Парето. Построенная математическая модель позволяет прогнозировать шероховатость поверхности в зависимости от режимов обработки и оптимизировать технологический процесс.

Полученные результаты указывают на возможность целенаправленного управления микроструктурой и свойствами материала при обработке серого чугуна для создания поверхностей с повышенной твердостью и износостойкостью. Это особенно актуально для изготовления деталей, работающих в условиях интенсивного трения и высоких нагрузок, таких как зубчатые колеса и валы. Методики, предложенные в работе, позволяют снизить затраты на термическую обработку и улучшить качество готовой продукции.

Ключевые слова: серый чугун, шероховатость, режимы резания, токарный станок с ЧПУ, математическое моделирование, микроструктурный анализ.

T.M.Buzauova*, A.E. Busurmanova

NJSC "Abylkas Saginov Karaganda Technical University", Karaganda, Kazakhstan

Machining of grey cast iron on CNC machines: problems, mathematical modeling

Abstract. This study provides a comprehensive analysis of the mechanical machining of gray cast iron (grade SCH20) on CNC lathes, focusing on surface roughness, microstructural changes, and optimization of technological parameters. The research involved the use of modern measurement tools to evaluate surface roughness (Ra), Vickers hardness (HV), and characteristics of graphite inclusions in the material's structure. The experiments revealed that increasing the cutting speed to 3000 rpm results in the formation of a cementite white zone in the cutting area, enhancing the surface hardness to 261.5 HV and improving wear resistance. In contrast, lower cutting speeds preserve the ferrite-pearlite structure with minimal changes to the graphite inclusions. Mathematical modeling, performed through regression analysis, identified key technological factors influencing surface roughness and microstructure. The number of graphite inclusions (Ng) was found to be the most significant factor, as confirmed by the Pareto chart. The developed mathematical model enables the prediction of surface roughness based on machining parameters and optimizes the machining process. The results demonstrate the possibility of purposefully controlling the microstructure and material properties during the machining of gray cast iron to produce surfaces with increased hardness and wear resistance. This is particularly relevant for manufacturing components operating under intense friction and heavy loads, such as gears and shafts. The proposed methods offer a cost-effective alternative to heat treatment while improving the quality of finished products.

Keywords: gray cast iron, roughness, cutting modes, SBB lathe, mathematical modeling, microstructural analysis.

References

1. Osama Khayal. Literature review on lathe machine // Nile Valley University. – 2019. - Vol. 1. – P. 32.
2. Das S. R., Mahapatra S. S., Sahoo S. K. Surface Roughness Model for Turning Grey Cast Iron // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture – 1993. - Vol. 2. – P. 292-304.
3. Lina Zhang, Aldrin D. Calderon. Research and prospects of CNC lathe // Zheng Zhou Business University. – 2024. - Vol. 3. – P. 8.

4. Ivanov I.I., Petrov P.P. Vliyanie parametrov obrabotki na sherohovatost' poverhnosti pri frezerovanii s CHPU // Journal of Manufacturing Processes. – 2018. – № 15. – S. 10-12.
5. Smirnova A.A., Kuznecov D.D. Analiz faktorov, vliyayushchih na kachestvo poverhnosti pri tokarnoj obrabotke s CHPU // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2019. – № 2. – S. 294-296.
6. Li H., Zhang V. Optimization of cutting modes to improve surface quality in CNC drilling // Precision Engineering. – 2020. – Vol. 10. – P. 25-28.
7. Johnson M., Williams R. Modeling and forecasting of surface roughness during CNC grinding // Journal of Materials Processing Technology. – 2017. – Vol. 7. – P. 14.
8. Kim S., Park J. The effect of tool wear on surface quality during CNC milling // Precision Engineering. – 2024. – Vol. 25. – P. 487.
9. Gonzalez L., Rodriguez F. Analysis of vibrations and their effect on surface roughness during CNC turning. Mechanical Systems and Signal Processing // Precision Engineering. – 2021. – Vol. 46. – P. 76.
10. Chen Yu., Lee K. Application of machine learning methods to predict surface roughness during CNC machining // Journal of Intelligent Manufacturing. – 2022. – Vol. 48. – P. 1030.
11. Ahmed N., Hussein M. The effect of coolants on surface roughness in CNC machining // Tribology International. – 2015. – Vol. 26. – P. 131.

Авторлар туралы мәлімет:

Бузауова Т. М. – хат-хабар авторы, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, ТЖМжәнеС кафедрасы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Назарбаев даңғ. 56, 100027, Қарағанды, Қазақстан

Бусурманова А.Е. – 2 курс магистранты, ТЖМжәнеС кафедрасы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Назарбаев даңғ. 56, 100027, Қарағанды, Қазақстан

Бузауова Т. М. – автор для корреспонденции, кандидат технических наук, доцент, кафедра ТОМиС, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, пр. Назарбаева 56, 100027, Караганда, Казахстан

Бусурманова А.Е. – магистрант 2 курса, кафедра ТОМиС, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, пр. Назарбаева 56, 100027, Караганда, Казахстан

Buzauova T. M. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, TEMES Department, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, 56 Nazarbayev Ave., 100027, Karaganda, Kazakhstan

Bussurmanova A. E. – 2nd year Master's student, TEMES Department, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, 56 Nazarbayev Ave., 100027, Karaganda, Kazakhstan



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



XҒТАР 55.01.77

Ғылыми мақала

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-151-2-93-106>

Механикалық өңдеу кезінде беттердің кернеулі-деформацияланған күйін зерттеу

Д.С.Мырзалиев  , О.Б Сейдуллаева  , Д.А.Абзалова  , Н.Н.Рахымтай 

М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті,
Қазақстан Республикасы, Шымкент

E mail: orynkul_s@mail.ru

Аңдатпа. Материалдарды өңдеу-бұл әр түрлі кернеулер мен деформациялар пайда болатын, өңделетін бөліктердің беттерінің кернеулі деформацияланған күйіне (КДК) айтарлықтай әсер ететін күрделі процесс болып табылады. Бұл жұмыста SolidWorks бағдарламасының көмегімен механикалық өңдеу нәтижесінде алынған беттердің кернеулі деформацияланған күйі (КДК) зерттеледі. SolidWorks бағдарламасындағы модельдеу кесу тереңдігі, кесу жылдамдығы және құралдың өнімділігі сияқты факторлардың әсерін ескеруге мүмкіндік береді. Зерттеудің негізгі мақсаты болат, алюминий және титан сияқты материалдардың бетіндегі кернеулер мен деформациялардың таралуын талдау болып табылады. Соңғы элементтер әдісі (СЭӘ) арқылы маңызды аймақтарды болжауға және өңдеу сапасын жақсартуға мүмкіндік беретін бірқатар деректер алынды. Осы мақаланы жазу барысында SolidWorks бағдарламасын пайдалану технологиялық процестерді оңтайландыруға айтарлықтай мүмкіндіктер береді. Алынған мәліметтер мен жүргізілген зерттеулердің нәтижелері негізінде өңделген беттердің сапасын жақсарту және өнімнің өнімділігін арттыру үшін кернеулі деформацияланған күйді бақылаудың бірнеше әдістері ұсынылды. Мақалада алынған нәтижелер механикалық өңдеудің технологиялық процестерін оңтайландыру үшін соңғы элементтер әдісінің тиімділігін растайды.

Түйін сөздер: механикалық өңдеу, кернеулі деформацияланған күй, бағдарламалық модельдеу, SolidWorks, соңғы элементтер әдісі, кесу, беттік деформациялар

Түсті 29.01.2025. Жөнделді 27.02.2025. Мақұлданды 10.06.2025. Онлайн қолжетімді 30.06.2025

* хат-хабар автор үшін

Кіріспе

Қазіргі таңда заманауи машина жасау өндіріс шығындарын азайта отырып, өндірілген бөлшектердің сапасы мен сенімділігін арттыру қажеттілігіне тап болып отыр. Бөлшектердің жұмыс сипаттамаларын анықтайтын негізгі аспектілердің бірі-кесу арқылы өңдеу процесінде пайда болатын олардың беттерінің күйі. Материалдың беткі қабаттарының кернеулі деформацияланған күйін (КДК) зерттеу технологиялық процесті оңтайландыруға, өңдеу сапасын жақсартуға және ақаулардың пайда болу қаупін азайтуға мүмкіндік береді. Осылайша, кесу кезінде дайындамалардың кернеулі деформацияланған күйін зерттеуі өнеркәсіп үшін ерекше өзектілікке ие болады.

Кесу арқылы механикалық өңдеу - бұл машина жасауда бөлшектерді жасау үшін қолданылатын негізгі технология. Кесу процестері дайындаманың беткі қабаттарының күйіне әсер ететін айтарлықтай механикалық және термиялық әсерлермен бірге жүреді. Өңдеу процесінде пайда болатын қалдық кернеулер мен деформациялар бөлшектердің беріктігі, тозуға төзімділігі, коррозияға төзімділігі және сенімділігі сияқты параметрлерді анықтайды.

Кернеулі деформацияланған күйді зерттеудің өзектілігі төмендегідей қажеттіліктерге байланысты:

- өңделген беттердің сапасын болжау дәлдігін арттыру;
- пайдалану процесінде ақаулардың пайда болу ықтималдығын азайту;
- өнімділікті арттыру және өнімнің өзіндік құнын төмендету үшін өңдеу параметрлерін оңтайландыру.

Зерттеу мақсаты: кесу арқылы механикалық өңдеу кезінде беттердің кернеулі деформацияланған күйін зерттеу және оңтайландыру арқылы бөлшектерді өндірудің тиімділігін арттыру.

Зерттеу міндеттері:

- кесу кезінде кернеулі деформацияланған күйін (КДК) қалыптастырудың теориялық аспектілеріне талдау жүргізу;
- соңғы элементтер әдісін (СЭӘ) қолдана отырып, КДК талдаудың сандық моделін жасау;
- нақты үлгілерде қалдық кернеулер мен деформациялар бойынша эксперименттік зерттеулер жүргізу;
- кесу параметрлері мен бөлшектердің беткі қабаттарының күйі арасындағы байланысты анықтау;
- өңделген беттердің сапасын жақсарту үшін кесу режимдерін оңтайландыру бойынша ұсыныстар әзірлеу.

Материалдарды өңдеу әр түрлі процестерді қамтиды, мысалы, кесу, фрезерлеу, тегістеу, олар өңделген бұйымдардың беткі күйіне әсер етеді. Өңдеу кезінде пайда болатын кернеулер мен деформациялар өнімнің жұмысына әсер ететін ақаулардың пайда болуына әкелуі мүмкін. Өңдеу процесінде пайда болатын кернеулі деформацияланған күйді талдау үшін сандық модельдеу әдістері кеңінен қолданылады, олардың арасында SolidWorks сияқты бағдарламалық жасақтама материалдардың механикалық әрекетін талдаудың қуатты құралы болып табылады.

Соңғы элементтер әдісін қолдана отырып, SolidWorks-те модельдеу материалдың бетіндегі кернеулер мен деформациялардың таралуын дәл және тиімді болжауға мүмкіндік

береді. Бұл зерттеу әртүрлі өңдеу режимдеріндегі беттік деформацияларды зерттеу үшін осы әдісті қолдануға бағытталған.

Кесу арқылы механикалық өңдеу технологияларын дамыту машинажасау кәсіпорындарының өнімдерінің бәсекеге қабілеттілігін қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. Кесумен өңделетін бөлшектердің беттері өнімнің пайдалану сипаттамаларын қалыптастыру үшін негіз болып табылады. Дегенмен, кесу процестері материалдың беткі қабатында қалдық кернеулер мен деформацияларды тудыратын жергілікті термомеханикалық әсерлермен бірге жүреді. Бұл бөлшектердің сенімділігі мен беріктігіне теріс әсер етуі мүмкін.

Осы жұмыс шеңберінде сандық және эксперименттік әдістерді қолдана отырып кесу кезінде беттердің кернеулі-деформацияланған күйі зерттеледі. Зерттеу нәтижелері өңдеу режимдерін оңтайландыру арқылы технологиялық процестердің тиімділігін арттыруға бағытталған.

Әдеби шолу. Кесу арқылы механикалық өңдеу құрал мен дайындаманың күрделі өзара әрекеттесуімен бірге жүреді, бұл материалдың бетінде қалдық кернеулер мен деформациялардың пайда болуына әкеледі. Бұл саладағы негізгі жұмыстардың бірі-кесу аймағында кернеулердің пайда болуының теориялық негіздерін ұсынған А.А. Алимовтың зерттеулері. Оның жұмысы ҚДК-ға әсер ететін негізгі факторларды талдайды: температура, кесу күші, өңделетін материалдың қасиеттері және құралдың геометриясы [1].

В. М. Коваленко жүргізген зерттеулер термомеханикалық процестердің бөлшектер бетінің күйіне әсері туралы мәліметтерді толықтырады. Автор кесу аймағындағы температураның таралуы қалдық кернеулер мен деформациялардың мөлшеріне тікелей әсер ететінін атап көрсетеді [2].

Кернеулі деформацияланған күйді (ҚДК) зерттеу үшін сандық әдістерді қолдану

Соңғы онжылдықтарда сандық әдістер, атап айтқанда соңғы элементтер әдісі (СЭЭ) кесу кезінде ҚДК талдаудың негізгі құралына айналды. Ф. А. Кушнерев пен Г. Ивановтың жұмыстары СЭЭ кернеулер мен температуралардың таралуын болжауға ғана емес, сонымен қатар қалдық кернеулерді азайту үшін өңдеу параметрлерін оңтайландыруға мүмкіндік беретіндігін көрсетті [3]. Ф.М.Ляховицкий мен А. Н. Пивкин ANSYS және Abaqus сияқты бағдарламалық құралдардың көмегімен әртүрлі кесу режимдерінің ҚДК-ға әсерін зерттеді және өңделетін беттің күйін болжау үшін модельдеу тиімділігін растады [4,5].

Бөлшектердің өнімділігіне ҚДК әсері

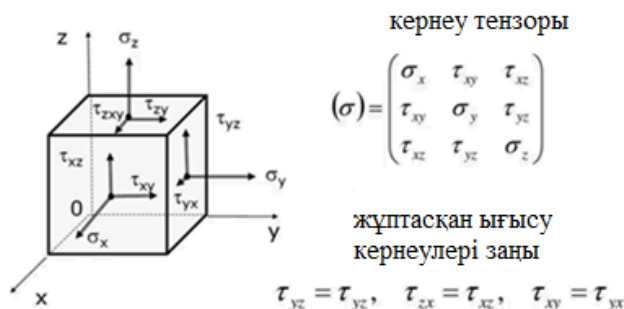
ҚДК мен бөлшектердің шаршау күші мен тозуға төзімділігі сияқты пайдалану қасиеттері арасындағы байланысты А.С. Чернов егжей-тегжейлі зерттеді. Оның зерттеулері ҚДК-ны дұрыс басқару бөлшектердің, әсіресе жоғары жүктемелер мен температураның өзгеруі жағдайында жұмыс істейтіндердің қызмет ету мерзімін едәуір ұзарта алатынын көрсетті [8].

Зерттеудің заманауи бағыттары

Заманауи зерттеулер алдын-ала белгіленген ҚДК сипаттамалары бар материалдарды жасауға бағытталған. Глебов Л. В. және Сидоров П. Н. жұмыстарында наноқұрылымды материалдар мен жабындарды пайдалану қалдық кернеулерді азайтуға және өңделген беттердің сапасын жақсартуға мүмкіндік беретінін көрсетеді [13, 14]. Сондай-ақ, өңделетін бөлшекке жылу жүктемесін төмендететін және деформацияны төмендететін жабындары бар «ақылды» кесу құралдарын жасау өзекті бағыт болып табылады [15].

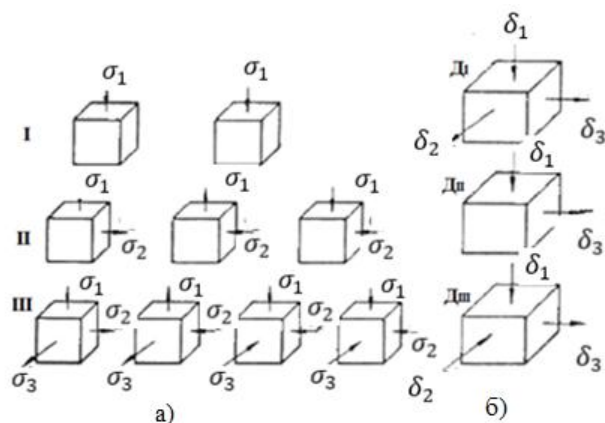
Әдіснама

Кернеулі деформацияланған күй (КДК) сыртқы жүктемелердің, температураның немесе басқа факторлардың әсерінен материалда пайда болатын кернеулер мен деформациялардың жиынтығын сипаттайды. Кесу арқылы механикалық өңдеу контекстінде КДК дайындаманың материалы кескіш құралдың әсеріне қалай жауап беретінін анықтайды (1-сурет).



1-сурет. Нүктедегі кернеулі деформацияланған күй

Кернеулі деформацияланған күй өңдеу процестерінде шешуші рөл атқарады (2-сурет). Ол дайындаманың материалы құралдың әсеріне қалай әсер ететінін, жоңқалардың пайда болу процесіне, өңделген беттің сапасына және құралдың қызмет ету мерзіміне қалай әсер ететінін анықтайды. Кернеулі деформацияланған күйін талдау және басқару алынған бөлшектердің өңдеу тиімділігі мен сапасын арттыруға мүмкіндік береді.



**2-сурет. Дайындаманың кернеулі деформацияланған күйінің сызбасы
а-кернеу күйі, б-деформацияланған күй.**

I-сызықтық кернеулі күй; II-жазық кернеулі күй; III-көлемдік кернеулі күй;
ДI-биіктіктің төмендеуі және қалған екі өлшемнің ұлғаюы;
ДII-биіктікті азайту және ені өзгермейтін ұзындықты ұлғайту; ДIII-дененің екі өлшемін азайту және үштікті ұлғайту

Кесу арқылы механикалық өңдеу кезінде кернеулі деформацияланған күй кесу күштері мен жылу ағынының әсерінен қалыптасады. Кернеулі деформацияланған күйге әсер ететін негізгі факторлар:

- кескіш құралдың геометриясы;
- өңдеу режимдері (жылдамдық, беріс, кесу тереңдігі);
- дайындама материалының жылу қасиеттері.

Қалдық кернеулердің таралуы құралдың алдыңғы және артқы беттеріндегі жанасу құбылыстарымен де, кесу аймағындағы қыздыру қарқындылығымен де анықталады.

Кернеулі деформацияланған күйді сандық модельдеу. Кесу процестерін модельдеу үшін соңғы элементтер әдісі қолданылды. SolidWorks бағдарламалық жасақтамасы қолданылды, онда кесу параметрлері, дайындама материалының термомеханикалық қасиеттері және кескіш құралдың геометриясы көрсетілген. Модельдеу барысында беткі қабаттағы қалдық кернеулер мен температураның таралуы алынды.

Кесуді өңдеу кезінде кернеулі деформацияланған күй (КДК) кесу процестерін түсінуде шешуші рөл атқарады, өйткені ол құралдың материалмен өзара әрекеттесу сипатын, бетінің сапасын, сондай-ақ құралдың тозуын анықтайды.

Эксперименттік зерттеулер кернеулі деформацияланған күйді зерттеуде де маңызды орын алады. А. А. Скуратов пен Б. С. Тарасовтың еңбектерінде сипатталған зертханалық сынақтар құралдың геометриясын, кесу жылдамдығын және беріс жылдамдығын өзгерту арқылы өңделетін беттегі қалдық кернеулерді реттеуге болатынын растайды [6]. Тарасов Б.С. еңбегінде қалдық кернеулерді өлшеу үшін қолданылатын тензометрия әдістері егжей-тегжейлі сипатталған, ол материалдардың әртүрлі түрлеріне контактісіз КДК өлшеу әдісін ұсынды [7].

Нәтижелер мен талқылау

Зерттеуде келесі материалдар қолданылды: болат, алюминий және титан, олардың әрқайсысының өзіндік өңдеу ерекшеліктері бар. Модельдеу үшін SolidWorks бағдарламасы қолданылды, ол бөлшектердің модельдерін құруға және оларды ақырлы соңғы элементтер әдісін (СЭӘ) қолдана отырып талдауға мүмкіндік береді.

1. Эксперименттік стенд пен өлшеу құралдарының сипаттамасы

Натурлық зерттеу жүргізу үшін арнайы дайындалған эксперименттік стенд қолданылды. Бұл стенд нақты өңдеу процестерін имитациялауға және өңделетін материалдардың кернеулі-деформацияланған күйін (КДК) нақты жағдайларда өлшеуге мүмкіндік береді.

Эксперименттік стендтің сипаттамасы:

- Құрылымдық элементтер: Стенд өңдеу білдегіне орнатылған металл қаңқадан тұрады. Ол кесу, фрезерлеу, бұрғылау процестерін жүргізуге бейімделген.
- Бекіту жүйесі: Үлгілерді сенімді түрде бекіту үшін универсалды қысқыш құрылғылар мен антивибрациялық тіреуіштер қолданылады.
- Қозғалтқыш жүйе: Жоғары айналымды шпиндель (3000–12000 айн/мин) кескіш құралдың қозғалысын қамтамасыз етеді.
- Басқару: Өңдеу параметрлері (кесу жылдамдығы, тереңдігі, беріс) сандық басқару блогы арқылы орнатылады.

- Салқындату жүйесі: Кесу аймағын салқындату үшін май-сулы эмульсия қолданылды, бұл температураны тұрақтандыруға көмектеседі.

Экспериментті жүргізудің барысы келесідей:

1. Үлгілерді дайындау. Болат 45 және алюминий қорытпасынан жасалған дайындамалар бастапқы бет ақауларын кетіру үшін дайындалады және тегістеледі.

2. Кесу параметрлерін реттеу. Кесу жылдамдығының, берілістің және кесу тереңдігінің әртүрлі комбинацияларымен бірқатар эксперименттер орындалады.

3. Қалдық кернеулерді өлшеу. Өңдеуден кейін өңделетін беттегі және оған жақын қалдық кернеулерді анықтау үшін рентгендік құрылымдық әдіспен зерттеледі. Өлшеу құралы:

Рентгендік дифракциялық құрылғы (XRD)

Үлгісі: Rigaku SmartLab немесе оған балама құрылғы.

Өлшеу дәлдігі: ± 5 МПа.

4. Микроқаттылықты өлшеу. Өлшеу өңделген беттерде микроқаттылықтарды қолдану арқылы жүзеге асырылады. Өлшеу құралы:

PMT-3 немесе Vickers типті микротвердометр.

5. Температураны бекіту. Кесу кезінде жанасу аймағындағы температура пирометрмен немесе кіріктірілген термопаралармен өлшенеді. Өлшеу құралы:

Пирометр: Инфрақызыл пирометр, өлшеу диапазоны: 0–1200 °C.

Термопара: ТХК типті (NiCr–Ni), кесу аймағына тікелей енгізілген.

6. Микроқұрылымды талдау. Микроскопты қолдана отырып, пластикалық деформация аймақтары мен зақымдану тереңдігін зерттеу. Өлшеу құралы:

Металлографиялық микроскоп. Үлгісі: Olympus GX сериясы немесе ұқсас.

Экспериментті жүргізуде өлшеу процесінің жалпы сипаттамасы:

1. Барлық өлшеулер нақты өңделген беттерде жүргізілді.

2. Температура мен деформациялар бір мезетте тіркелді.

Өлшеу нәтижелері SolidWorks-пен алынған модельдеу нәтижелерімен салыстырылды, бұл өлшеудің дұрыстығын растауға мүмкіндік берді.

1-Кесте. Модельдеу үшін қолданылатын негізгі параметрлер

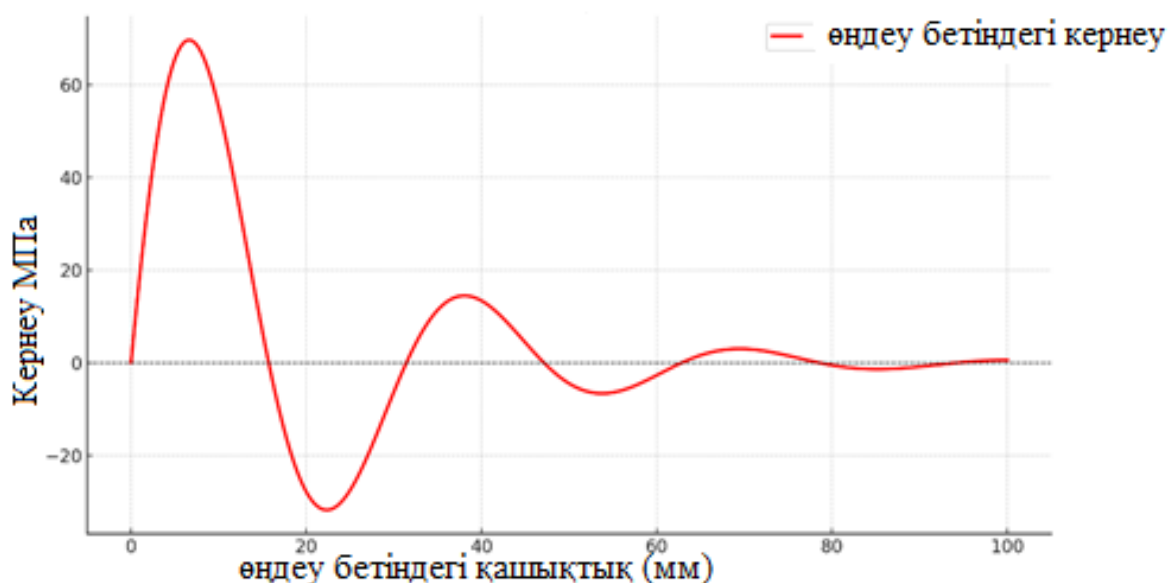
№	Параметрлер атауы	Мәні
1	Кесу жылдамдығы	100, 200, 300 м/мин
2	Кесу тереңдігі	0.5, 1.0, 1.5 мм
3	Құрал геометриясы: кесу бұрышы	30°, 45°, 60°

Мәселені шешу өңдеу процесінде жүктеме мен температураның әсерін ескеретін кіріктірілген SolidWorks құралдарының көмегімен жүзеге асырылды.

Эксперимент және эксперимент нәтижелері Модельдеу нәтижесінде әртүрлі өңдеу режимдерінде әр материал үшін кернеу мен деформацияның таралуы алынды. 3-суретте кесу тереңдігі 1 мм және жылдамдығы 200 м/мин Болаттың нәтижелері көрсетілген.

Суретте көрсетілген мәліметтерден максималды кернеулер құралдың материалмен жанасу аймағына жақын жерде пайда болатындығын көруге болады. Алюминий мен титан үшін максималды кернеулер ұқсас параметрлерде байқалады, алайда титан үшін кернеу мөлшері едәуір жоғары болды, бұл оның жоғары қаттылығы мен беріктігіне байланысты.

Әрбір материал үшін өңдеудің оңтайлы параметрлері анықталды, онда бетіндегі кернеулердің мөлшері азаяды, бұл өңдеу сапасын жақсартуға және құралдың тозуын азайтуға көмектеседі.



3-сурет. Фрезерлеу кезінде болат бетіндегі кернеулердің таралуы (жылдамдығы 200 м / мин, кесу тереңдігі 1 мм)

Кернеулі деформацияланған күйді басқару кесу процесін оңтайландыруға, өңдеу сапасын жақсартуға және құралдың ресурсын арттыруға мүмкіндік береді.

Кесу арқылы механикалық өңдеу кезінде кернеулі деформацияланған күйді (КДК) зерттеу әдістері үш негізгі категорияға бөлінеді: теориялық, эксперименттік және сандық (сандық модельдеу). Бұл әдістер кесу аймағында болып жатқан процестерді тереңірек түсінуге, өңдеу сапасы мен құралдың тозуына әсер ететін кернеулерді, деформацияларды және басқа параметрлерді анықтауға мүмкіндік береді.

Эксперименттік деректер мен модельдеуді салыстырмалы талдау. Эксперименттер жүргізілді, олардың деректері 1-кестеде келтірілген.

2-кесте. Эксперименттік деректер

№	Жүктеме (Н)	Кернеу (МПа)	Деформация (%)
1	1000	120	0.25
2	2000	240	0.50
3	3000	360	0.75

SolidWorks Simulation - да алынған модельдеу нәтижелері 2, 3 - кестелерде келтірілген.

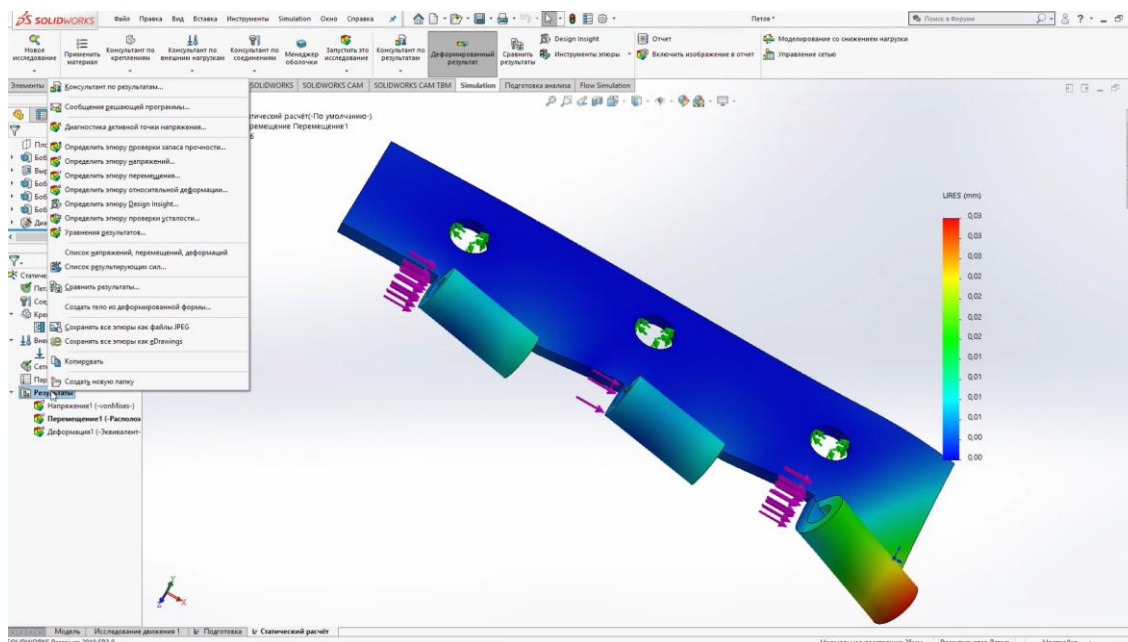
3-кесте. Модельдеу нәтижелері

№	Жүктеме (Н)	Кернеу (МПа)	Деформация (%)
1	1000	118	0.23
2	2000	237	0.48
3	3000	355	0.73

4. Сәйкессіздіктерді талдау

Кестелерден көріп отырғанымыздай, модельдеу мен эксперименттердің нәтижелері шамалы сәйкессіздіктерге ие. Кернеулердегі айырмашылық 2-5 МПа-дан аспайды, ал деформациялар 0.02% - дан аз ерекшеленеді. Сәйкессіздіктердің ықтимал себептері:

- Соңғы элементтер әдісінің дәлдігі және қолданылатын бөлу торы;
- Эксперименттегі өлшеу қателіктері;
- Модельдегі геометрия мен шекаралық шарттарды идеализациялау.



4-сурет SolidWorks Simulation кернеудің таралуы

SolidWorks Simulation модельдеу нәтижелері эксперименттік деректермен жақсы байланысты. Айырмашылықтар рұқсат етілген қателіктер шегінде болады, бұл модельдеудің дұрыстығын растайды. Есептеулердің дәлдігін одан әрі жақсарту үшін материалдың моделін нақтылауға және есептеу торының ажыратымдылығын арттыруға болады.

Қорытынды

Өңдеу кезінде беттердің кернеулі деформацияланған күйін модельдеу үшін SolidWorks бағдарламасын пайдалану технологиялық процестерді зерттеу мен

оңтайландырудың тиімді құралы болып табылады. Эксперименттердің нәтижелері кесу тереңдігі мен кесу жылдамдығы беткі кернеулердің пайда болуында шешуші рөл атқаратынын көрсетті. СЭӘ көмегімен модельдеу сыни аймақтарды анықтауға және өңдеу сапасын бақылауды жақсартуға мүмкіндік береді, бұл құралдардың беріктігін арттыруға және өңдеу дәлдігін жақсартуға көмектеседі. Болашақта мұндай модельдерді қолдану әртүрлі материалдарды өңдеудің тиімді әдістерін дамытуға ықпал етеді.

Талдау көрсеткендей, кесу және беру жылдамдығының жоғарылауымен қалдық кернеу деңгейі, сондай-ақ кесу аймағындағы максималды температура жоғарылайды. Өңдеудің оңтайлы параметрлері қалдық кернеулерді азайту негізінде анықталды.

КДК үлестірімі: қалдық кернеулердің ең біркелкі үлестірілуіне орташа кесу жылдамдығы мен аз беру кезінде қол жеткізілетіні анықталды.

Кедір-бұдыр: азықтандыру мен кесу тереңдігінің жоғарылауымен өңделген беттің кедір-бұдырының өсуі байқалады.

Кесу режимдерін оңтайландыру: қалдық кернеулерді азайту және қанағаттанарлық кедір-бұдырды қамтамасыз ету үшін 100 м/мин жылдамдықты, 0.2 мм/айн беруді және 0.5 мм Кесу тереңдігін пайдалану ұсынылады.

Ғылыми-зерттеу жұмысы барысында бөлшектерді дайындаудың тиімділігін арттыру мақсатында кесу арқылы механикалық өңдеу кезінде пайда болатын беттердің кернеулі-деформацияланған күйіне (КДК) зерттеу жүргізілді. Алынған нәтижелер негізінде технологиялық процестерді оңтайландыруға бағытталған ұсыныстар тұжырымдалған.

Әдебиеттерді талдау көрсеткендей, өңдеу кезінде КДК зерттеу теориялық және эксперименттік тәсілдерді біріктіретін маңызды бағыт болып табылады. СЭӘ сияқты сандық әдістерді эксперименттік өлшемдермен бірге қолдану Кесу аймағында болатын процестерді егжей-тегжейлі түсінуге мүмкіндік береді. Шешілмеген негізгі міндеттер өңдеуді оңтайландыру бойынша әмбебап ұсыныстар жасау үшін модельдеу мен эксперименттік деректерді біріктірумен байланысты.

Беткі қабаттың кернеулі деформацияланған күйі бөлшектерді өңдеу сапасы мен пайдалану сипаттамаларын анықтайтын негізгі фактор болып табылады.

Сандық және эксперименттік зерттеу әдістері кесу параметрлері мен КДК арасындағы байланысты анықтады.

Қалдық кернеулерді азайту және өңделген беттердің сапасын жақсарту үшін кесу режимдерін оңтайландыру бойынша ұсыныстар жасалды.

Жұмыстың негізгі қорытындылары:

Кесу параметрлері (кесу тереңдігі, кесу жылдамдығы, беру) мен өңделетін материал беттерінің КДК арасындағы байланыс анықталды. Бұл параметрлерді оңтайландыру қалдық кернеулер мен беттік ақауларды азайтуға мүмкіндік беретіні анықталды.

Қалдық кернеулерді болжаудың жоғары дәлдігін қамтамасыз ететін тензометрия және сандық модельдеу сияқты заманауи талдау әдістерін қолдану негізінде КДК бағалау әдістемесі жасалды.

Прогрессивті кескіш құралдар мен салқындатқыштарды қолдану өңделген беттің сапалық сипаттамаларын жақсартып отырып, материалдың пластикалық деформациясының қарқындылығын төмендетуге ықпал ететіні анықталды.

Құрылымдық материалдардың әртүрлі түрлеріне арналған аспаптық материалдарды, кесу режимдерін және салқындату стратегияларын таңдау бойынша

ұсыныстар ұсынылған, бұл бөлшектердің өнімділігі мен жұмыс ресурсын арттыруға көмектеседі.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы өндірістік шығындарды азайтуды және механикалық өңдеуді оңтайландыру арқылы өндірілген бөлшектердің сапасын жақсартуды қамтамасыз ететін тәсілдерді әзірлеу және енгізу болып табылады. Алынған нәтижелер машина жасауда, авиация жасауда, автомобиль жасауда және өңдеудің сапасы мен дәлдігіне жоғары талаптар қойылатын басқа салаларда қолданылуы мүмкін.

Авторлардың қосқан үлесі

Д.С.Мырзалиев, О.Б. Сейдуллаева – мақаланың тұжырымдамасына; зерттеу нәтижелерін жинау, талдау немесе түсіндіру;

Д.А.Абзалова, Н.Н.Рахымтай - мәліметтер жинау, жазу, өңдеу, талдау, визуализация, рәсімделуіне елеулі үлес, қаржыландыру

Әдебиеттер тізімі

1. Напряженно-деформированное состояние и прочность режущих элементов инструментов / Е. В. Артамонов, И. А. Ефимович, Н. И. Смолин, М. Х. Утешев; Под. общ. ред. М. Х. Утешева. - Москва: Недра, 2001. - 198 с.; ISBN 5-8365-0093-2.
2. Коваленко В.В. Международная система единиц измерения (СИ) в курсе «Теория резания металлов»: Учеб. пособие для студентов специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» / М-во высш. и сред. спец. образования УССР. Киевский ордена Ленина политехн. ин-т им. 50-летия Великой Октябрьской соц. революции. Кафедра технологии машиностроения. - Киев: [б. и.], 1968.-54с.
3. Махалов М.С., Кречетов А.А., Блюменштейн В.Ю., Горбатенко В.В. Исследование распределения остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя после механической обработки методами сверления зондирующих отверстий и цифровой корреляции изображений // iPolytech Journal. 2024. Т. 28. № 1. С. 40-50. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2024-1-40-50>. EDN: EAULHD.
4. Ляховицкий Ф. М. Теория резания металлов / Ф. М. Ляховицкий. - Москва: Машиностроение, 2021. - 424 с.
5. Пивкин А. Н. Роль остаточных напряжений в повышении эксплуатационных свойств деталей машин / А. Н. Пивкин, И. П. Сергеев // Известия вузов. Машиностроение. - 2022. - № 4. - С. 18-26.
6. Скуратов А. А. Анализ деформационных процессов при обработке металлов резанием / А. А. Скуратов. - Санкт-Петербург: Политехника, 2020. - 289 с.
7. Тарасов Б. С. Влияние параметров резания на качество обработанной поверхности / Б. С. Тарасов, О. В. Смирнова // Технология машиностроения. - 2019. - № 6
8. Чернов А. С. Современные методы анализа напряжённо-деформированного состояния поверхностей при резании / А. С. Чернов. - Казань: Изд-во Казанского университета, 2021. - 344 с.
9. Шишкин А. С. Остаточные напряжения и их влияние на долговечность деталей / А. С. Шишкин, Е. В. Королёва // Металлообработка. - 2021. - № 7. - С. 56-63.

10. Эрдман Е. Г. Исследование сил резания и их влияния на процесс обработки / Е. Г. Эрдман, И. Н. Захаров. - Екатеринбург: Уральский университет, 2018. - 298 с.
11. Механическая обработка материалов: учебное пособие / Авт.А.М.Дальский, В.С.Гаврилюк, Л.Н.Бухаркин. - М.: Машиностроение, 1981. - 263 с.
12. Кена П. «Численные методы в механике материалов: С приложениями от Нано до макромасштабов»// Кена П., Изд-во: CRC Press (27.11.2017), электронная книга 2018, ISBN-13: 978-1351380997.
13. Глебов Л.В., Сидоров П.Н. «Наноматериалы: структура, свойства, применение». - М.: Наука, 2018. - 432 с.
14. Лепов В.В., Иванов А.М., Логинов Б.А., Беспалов В.А., Ачикасова В.С., Закиров Р.Р., Логинов В.Б. Механизм разрушения наноструктурированной стали при низких температурах // Российские нанотехнологии. – 2008. - №11-12. – С. 734-742.
15. Витязь, П. А. Основы нанотехнологий и наноматериалов: учебное пособие для студентов технических университетов / П. А. Витязь, Н. А. Свидуневич. - Минск : Вышэйшая шк., 2010. - 302 с.; ISBN 978-985-06-1783-5

Д.С.Мырзалиев, О.Б Сейдуллаева, Д.А.Абзалова, Н.Н.Рахымтай

*Южно-Казахстанский исследовательский университет им. М. Ауэзова, Шымкент,
Казахстан*

Исследование напряженно-деформированного состояния поверхностей при механической обработке

Аннотация. Механическая обработка материалов - это сложный процесс, при котором возникают различные напряжения и деформации, оказывающие существенное влияние на напряженно-деформированное состояние (НДС) поверхностей обрабатываемых деталей.

В данной работе с помощью программы SolidWorks исследуется напряженно-деформированное состояние (НДС) поверхностей, полученных в результате механической обработки. Моделирование в этой программе позволяет учесть влияние таких факторов, как глубина резания, скорость резания и характеристики инструмента. Основной целью исследования является анализ распределения напряжений и деформаций на поверхности таких материалов, как сталь, алюминий и титан. С помощью метода конечных элементов (МКЭ) был получен ряд данных, которые позволяют прогнозировать критические зоны и повышать качество обработки. Использование программы SolidWorks в процессе написания данной статьи предоставляет значительные возможности для оптимизации технологических процессов. На основе полученных данных и результатов проведенных исследований было предложено несколько методов контроля напряженно-деформированного состояния для улучшения качества обрабатываемых поверхностей и увеличения производительности изделия. Результаты, полученные в статье, подтверждают эффективность метода конечных элементов для оптимизации технологических процессов механической обработки.

Ключевые слова: механическая обработка, напряженно-деформированное состояние, программное моделирование, SolidWorks, метод конечных элементов, резка, деформации поверхности.

D.S.Myrzalyiev, O.B. Seidullayeva, D.A.Abzalova, N.N.Rakhymtai

M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan

Investigation of the stress-strain state of surfaces during mechanical processing

Abstract. Mechanical processing of materials is a complex process in which various stresses and deformations occur, which have a significant impact on the stress-strain state (SSS) of the surfaces of the machined parts. In this paper, the stress-strain state (SSS) of surfaces obtained as a result of mechanical processing is investigated using the SolidWorks program. Modeling in this program allows you to take into account the influence of factors such as cutting depth, cutting speed and tool characteristics. The main purpose of the study is to analyze the stress and strain distribution on the surface of materials such as steel, aluminum, and titanium. Using the finite element method (FEM), a number of data were obtained that make it possible to predict critical zones and improve the quality of processing. Using the SolidWorks program in the process of writing this article provides significant opportunities for optimizing technological processes. Based on the data obtained and the results of the conducted research, several methods of stress-strain control have been proposed to improve the quality of the treated surfaces and increase the productivity of the product. The results obtained in the article confirm the effectiveness of the finite element method for optimizing the technological processes of mechanical processing.

Keywords: mechanical processing, stress-strain state, software modeling, SolidWorks, finite element method, cutting, surface deformation

References

1. Alimov A. A. Napryazhonno-deformirovannoye sostoyaniye i kachestvo poverkhnostnogo sloya pri obrabotke rezaniyem / A. A. Alimov. - Moskva: Mashinostroyeniye, 2015. - 368 s.
2. Kovalenko V. M. Osnovy teorii rezaniya metallov / V. M. Kovalenko. - Moskva: Vysshaya shkola, 2019. - 312 s.
3. Kushnerov F. A. Issledovaniye ostatochnykh napryazheniy v poverkhnostnom sloye detaley posle mekhanicheskoy obrabotki / F. A. Kushnerov, G. I. Ivanov // Vestnik mashinostroyeniya. - 2020. - № 10. - S. 25–32.
4. Lyakhovitskiy F. M. Teoriya rezaniya metallov / F. M. Lyakhovitskiy. - Moskva: Mashinostroyeniye, 2021. - 424 s.
5. Pivkin A. N. Rol' ostatochnykh napryazheniy v povyshenii ekspluatatsionnykh svoystv detaley mashin / A. N. Pivkin, I. P. Sergeev // Izvestiya vuzov. Mashinostroyeniye. - 2022. - № 4. - S. 18-26.
6. Skuratov A. A. Analiz deformatsionnykh protsessov pri obrabotke metallov rezaniyem / A. A. Skuratov. - Sankt-Peterburg: Politehnika, 2020. - 289 s.
7. Tarasov B. S. Vliyaniye parametrov rezaniya na kachestvo obrabotannoy poverkhnosti / B. S. Tarasov, O. V. Smirnova // Tekhnologiya mashinostroyeniya. - 2019. - № 6
8. Chernov A. S. Sovremennyye metody analiza napryazhonno-deformirovannogo sostoyaniya poverkhnostey pri rezanii / A. S. Chernov. - Kazan': Izd-vo Kazanskogo universiteta, 2021. - 344 s.
9. Shishkin A. S. Ostatochnyye napryazheniya i ikh vliyaniye na dolgovechnost' detaley / A. S.

- Shishkin, Ye. V. Korolova // Metalloobrabotka. - 2021. - № 7. - S. 56-63.
10. Erdman Ye. G. Issledovaniye sil rezaniya i ikh vliyaniya na protsess obrabotki / Ye. G. Erdman, I. N. Zakharov. - Yekaterinburg: Ural'skiy universitet, 2018. - 298 s.
11. Shevchenko V. M., Belyayev S. YU. «Mekhanicheskaya obrabotka materialov», M: Mashinostroyeniye, 2019.
12. Chernyshev N. A. «Chislennyye metody v mekhanike materialov», Sankt-Peterburg: BKHV-Peterburg, 2020.
13. Glebov L.V., Sidorov P.N. «Nanomaterialy: struktura, svoystva, primeneniye». - M.: Nauka, 2018. - 432 s.
14. Bokov A.G. «Nanostrukturirovannyye metally i splavy: svoystva i tekhnologii». - SPb.: Politehnika, 2016. - 387 s.
- Oleynikov N.N. «Osnovy nanotekhnologiy i nanomaterialov». - Yekaterinburg: UrFU, 2020. - 298 s.

Авторлар туралы мәлімет:

Мырзалиев Дархан Сапарбайұлы - т.ғ.к., доцент, «Механика және мұнайгаз ісі» факультеті, «М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті» КЕАҚ, Шымкент, 160016, Қазақстан Республикасы

Сейдуллаева Орынгул Бахытқызы - «Машинажасау» БББ бойынша докторант, «Механика және мұнайгаз ісі» факультеті, «М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті» КЕАҚ, Шымкент, 160016, Қазақстан Республикасы

Абзалова Диларам Абдурасулқызы - т.ғ.к., доцент, «Механика және мұнайгаз ісі» факультеті, «М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті» КЕАҚ, Шымкент, 160016, Қазақстан Республикасы

Рахымтай Нұрсая - «Машинажасау» БББ бойынша докторант, «Механика және мұнайгаз ісі» факультеті, «М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті» КЕАҚ, Шымкент, 160016, Қазақстан Республикасы

Мырзалиев Дархан Сапарбаевич - к.т.н., доцент, факультет «Механика и нефтегазовое дело» НАО «Южно-Казахстанский исследовательский университет им.М.Ауэзова», Шымкент, 160016, Республика Казахстан.

Сейдуллаева Орынгул Бахытовна - докторант по ОП «Машиностроение», факультет «Механика и нефтегазовое дело», НАО «Южно-Казахстанский исследовательский университет им.М.Ауэзова», Шымкент, 160016, Республика Казахстан.

Абзалова Диларам Абдурасуловна - к.т.н., доцент, факультет «Механика и нефтегазовое дело» НАО «Южно-Казахстанский исследовательский университет им.М.Ауэзова», Шымкент, 160016, Республика Казахстан.

Рахымтай Нурсая - докторантка по ОП «Машиностроение», факультет «Механика и нефтегазовое дело», НАО «Южно-Казахстанский исследовательский университет им.М.Ауэзова», Шымкент, 160016, Республика Казахстан.

Myrzaliyev Darkhan Saparbaevich - candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Faculty of Mechanics and Oil and Gas Engineering, NAO «M. Auezov South Kazakhstan Research University», Shymkent, 160016, Republic of Kazakhstan

Seidullayeva Oryngul Bakhytkyzy - Doctoral student in Mechanical Engineering, Faculty of Mechanics and Oil and Gas Engineering, NAO « M. Auezov South Kazakhstan Research University », Shymkent, 160016, Republic of Kazakhstan

Abzalova Dilaram Abdurasulovna - candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Faculty of Mechanics and Oil and Gas Engineering, NAO «M. Auezov South Kazakhstan Research University», Shymkent, 160016, Republic of Kazakhstan

Rakhymtay Nursaya - Doctoral student in Mechanical Engineering, Faculty of Mechanics and Oil and Gas Engineering, NAO «M. Auezov South Kazakhstan Research University», Shymkent, 160016, Republic of Kazakhstan



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



Possibilities of using electric trucks in the Republic of Kazakhstan

O.V. Garmash , M. E. Kalekeyeva* , G.V. Muratbekova , I.Zh. Assilbekova ,
M. A. Gozhakhmetova 

Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan

E mail: kalekeeva.m@mail.ru

Abstract. This study examines the possibility of using electric trucks in the Republic of Kazakhstan. The relevance of this topic is due to the fact that a significant increase in interest in electric vehicles and environmental friendliness of transport necessitates the search for alternative energy sources for trucks. Electric trucks are one of the promising options for replacing traditional trucks powered by gasoline or diesel in Kazakhstan. The main advantage of electric trucks lies in low operating costs and the absence of emissions of harmful substances into the atmosphere, which improves air quality and contributes to the environmental sustainability of cities. The subject of this study is aspects of the introduction of electric trucks in Kazakhstan, as well as charging infrastructure, logistics problems and government support opportunities. The purpose of this study was to determine the possibility of using electric trucks in the Republic of Kazakhstan. To achieve this goal, an analysis of the activities of transport companies was carried out, as well as a comparative analysis of freight transport with an internal combustion engine and an electric motor. The methodological basis of this study is logical and structural analyses. In the course of the work, a system-structural analysis based on general theoretical, statistical, and scientific sources was used. Based on the results obtained, it can be concluded that the use of electric trucks is beneficial both for transport companies and for the environment, but an insufficiently developed transport infrastructure hinders the use of ecological transport.

Keywords: transport companies, electric trucks, environment, transport infrastructure, logistics.

Received 29.01.2025. Revised 10.02.2025. Accepted 18.03. 2025. Available online 30.06.2025

* the corresponding author

Introduction

Currently, ecotransport is becoming more relevant and in demand in society. Increasing problems with environmental pollution, deteriorating air quality, climate change, and limited reserves of oil and other fossil resources are the reasons why people are increasingly paying attention to environmental alternatives in the transportation sector. Ecotransport, such as electric cars, bicycles, electric scooters, and public transport using more environmentally friendly fuels, can reduce emissions, improve urban air quality, and reduce noise levels. This is especially important in densely populated cities, where cars are the main source of environmental pollution. In addition, ecotransport helps to improve the physical condition of people, since its use requires physical activity. Bicycles and walking transport help to reduce the level of obesity and cardiovascular diseases.

Ecotransport can also be economically beneficial in terms of reducing fuel costs. Electric vehicles and bicycles, for example, have much lower refueling or charging costs than cars with an internal combustion engine.

Finally, the active introduction of ecotransport can contribute to the creation of new jobs related to the production and maintenance of these vehicles.

In general, ecotransport is highly relevant in modern society, as it contributes to improving the environmental situation, human health, economic benefits and social benefits. This trend is expected to continue and develop further in the future.

The methodology

Innovative approaches to solving modern problems are increasingly relevant. With the opening of new highways, the production of trucks with electric motors, the establishment and implementation of smart traffic light functions, the development of speed cameras, etc., all this contributes to the fact that science keeps pace with the times and the application of new approaches to it in logistics will always remain an urgent issue.

Improvement in cargo transportation can be viewed from the point of view of reducing the duration of deliveries. The faster the cargo is delivered, the more rides will be completed.

The analysis of ecotransport and its effectiveness includes an assessment of the use and environmental impact of various types of vehicles and transportation systems. Various materials and methods are used to carry out such an analysis. Concentrations of major greenhouse gases (GHGs) have been increasing at an unprecedented rate over the past few centuries due to anthropogenic impact. Transport directly emits about 20% of anthropogenic GHGs worldwide and almost 30% in the countries of the Organization for Cooperation and Economic Development. Approximately 2.2% of all anthropogenic GHGs are released into the atmosphere by aviation. Motor transport accounts for about 14%, while other types of transport – sea, rail and others - produce a total of 3.8% [1].

The materials used in the analysis of ecotransport include data on vehicles and transportation systems, covering aspects such as types of transport (e.g. cars, buses, bicycles, pedestrians), types of fuel used (gasoline, diesel, electricity), weight and dimensions of vehicles, as

well as their technical characteristics (e.g., emission standards, energy efficiency). Additional data may also include information about routes, times, and traffic jams.

The methods of ecotransport analysis vary depending on the goals and objectives. One of the main methods is quantitative analysis, which is based on comparing various indicators such as emissions of pollutants and greenhouse gases, energy efficiency, fuel costs, etc. Various research methods are used to collect data, such as observation, questionnaires, or data collection from statistical sources.

Methods of rationing and economic analysis are also used to assess the effectiveness of ecotransport use. Rationing makes it possible to determine the quality and environmental efficiency of the use of various modes of transport and transportation systems. Economic analysis makes it possible to estimate the cost and economic indicators of using ecotransport, such as the cost of vehicle maintenance and repair, fuel economy, etc. [2].

It is important to note that the analysis of ecotransport and the effectiveness of its use is a multifaceted process that requires the collection and analysis of various data, the use of various methods and consideration of various aspects such as practicality, accessibility and social aspects.

Findings/Discussion

Eco-friendly transport systems provide positive dynamics in the environmental, social and economic spheres of the society they serve. Transportation systems exist to provide social and economic connections so that people can quickly master the means to increase mobility. All the advantages of increased mobility need to be assessed in relation to the environmental, economic and social costs that transport systems create [3].

The following parameters affect the speed of cargo transportation:

- cargo volume;
- distance;
- road infrastructure;
- technical condition of the vehicle;
- technical operations, document management;
- cargo preparation and packing;

All parameters directly or indirectly affect the speed of cargo delivery from one destination to another location specified by the customer. But many concepts and solutions have been developed for each parameter. For example, often when accepting a request from a customer, the logistics coordinator tells him the date of arrival of the cargo at its destination with a margin of 5-10 days. At the same time, by notifying the client about this, the client accepts this condition and waits for the cargo with a 10-day supply. But when the cargo arrives earlier than the specified date, the customer reluctantly leaves a good review marked "the cargo was delivered quickly." In other words, this is not an improvement in transportation or an increase in the speed of delivery, but an illusion of it. The workflow and technical operations are prepared in advance and the operations are carried out in parallel with the assembly of the cargo for shipment. This reduces enough time.

The use of ecotransport has the following advantages:

- electricity is cheaper than liquid fuel;

- high EFFICIENCY;
- silent operation of the engine;
- saving consumables.

Other advantages of the electric car include:

- environmental friendliness, the engines do not emit substances that can harm the environment;
- safety, due to the fact that the center of gravity is at the bottom, cars turn over less often.;
- improved dynamics [4].

Let's consider an example of transporting seeds from Almaty to Aktobe using electric loaders. Suppose that electric trucks began to be used en masse in Kazakhstan and electric filling stations were installed along all adjacent highways, then what would be the benefit or what costs would be reduced compared to conventional cargo transport powered by an internal combustion engine.

As an example, let's take some of the best trucks among all the others according to auto magazine "Fastmb.ru ". The best truck was the Mercedes-Benz Actros 6th generation. According to its characteristics, it is considered the most innovative truck among its relatives, its load capacity is 9-13.5 tons, fuel consumption per 100 km is 25-130 liters (depending on the load), and the tank volume ranges from 450-1200 liters. For comparison, let's take an electric truck from Tesla. Tesla Semi — truck, the engine type is electric, the maximum speed is 112 km/h, the range of a full battery is 800 km, and the charging time is 40 minutes. With an energy consumption of less than 2 kWh per mile, the Semi can travel up to 500 miles on a single charge. Using Tesla's Semi chargers, you can restore up to 70 percent of the range in 30 minutes [5]. And most importantly, its maximum load capacity is more than 15 tons. For clarity, Table 1 shows the data on the technical characteristics of the compared trucks with different types of engines.

Table 1. Comparison of two trucks with an internal combustion engine and an electric motor

	Mercedes-Benz Actros 6	Tesla Semi
Load capacity	9-13,5 tons	Более 15 tons
Consumption per 100 km	25-130 liters	100 kW/km
Maximum speed	162 km/h	112 km/h
Note — compiled by the author based on sources [6],[7], [8]		

Based on Table 1, it is still difficult to say which technical characteristics are more advantageous for which model. One model has a higher load capacity, while the other is 3 times cheaper, or one model has a higher maximum speed, while the other in this case has a lower consumption. But here we can also note another very important characteristic — emissions of harmful substances. Of course, in this aspect, the Tesla car has a huge advantage over the German truck. It is this aspect that will soon become fundamental when buying your own cargo fleet. Tesla

sells its own chargers that can be used even at home in a 220V garage, which is a huge advantage, since any driver can charge their truck overnight after a day at work. This is a good alternative, if you compare it with the superchargers that are installed at electric gas stations (where the car charges in 20 minutes).

Also, we must not forget about the disadvantages that the truck models in question have. The first most worrying drawback that can be considered at the regional level is the lack, and in some places, the complete absence of electric filling stations. According to statistics, 180 electric filling stations have been installed in Kazakhstan at the moment. As reported by Finprom on February 5.kz, citing data from the Bureau of National Statistics, as of January 1, 2024, there were 7,7 thousand electric vehicles in Kazakhstan. This is 13% more than last year's figure and 15 times more than in 2022. At the same time, the infrastructure of gas stations for electric cars in Kazakhstan is still poorly developed: there are only 180 such stations in the whole country. There are the most electric vehicles in Almaty (4.3 thousand cars) [9].

The second disadvantage is the effect of temperature on battery performance. Like any battery, whether it's in a cell phone or installed in new electric cars, the battery can quickly run out when exposed to subzero temperatures. Hence, the next disadvantage is the maintenance of the battery itself. Lithium-ion batteries are used for electric cars, and cobalt is required to create them. A large proportion of the cobalt deposit falls on the Congo country, where there are constant political problems. Because of this, the demand and price for cobalt is not stable.

The third and perhaps the most primitive disadvantage is the danger of accidents. When the battery is deformed, it explodes during a chain of chemical reactions. Also, the main advantage of using electric trucks is that they can and even better be used for short long-distance transportation. This will bring more benefits than sending over longer distances. Since even if the presence of electric gas stations allows you to travel long distances, the time to recharge will increase the delivery time. A sufficient number of electric filling stations will allow electric trucks from the CIS countries to cross their route through Kazakhstan, thereby increasing the capacity of our country, increasing the pace of development of logistics and the economy as a whole.

Using the example of the supply of seeds from Almaty to Aktobe, I would like to show how much electric trucks can reduce the cost of production due to the low price of fuel (electricity). According to statistics, as of January 1, 2024, a kilowatt per hour costs 25.82 tenge, including VAT.

The cost of AI - 92 gasoline and diesel varies from 188-201 tenge and 270-295 tenge, respectively. Currently, the price of fuel is growing rapidly, so it is difficult to guess how much gasoline will cost in a year, but the price of electricity changes every 2 or 3 years, but the changes are not so great in relation to gasoline and diesel. And now we have the price of 2 comparable fuels, which we can compare on the route of Almaty and Aktobe.

The route was built with a GIS map, which makes it clear to us that it is a route generated by a website that monitors online and 24/7. Figure 1 shows this route from Almaty to Aktobe. As mentioned above, the distance is 2,184 kilometers. For comparison, we will add the 2 above-mentioned types of trucks to the table. This is a Tesla Semi, Mercedes-Benz Actros 6. Using the formula for deducting fuel consumption, taking into account the consumption of two trucks per

100 kilometers, we calculate using the formula:

$$R = \frac{S_{\text{пр.р}}}{100 \times r} \quad (1)$$

where:

$S_{\text{пр.р}}$ - distance traveled;

r – fuel consumption per 100 km.

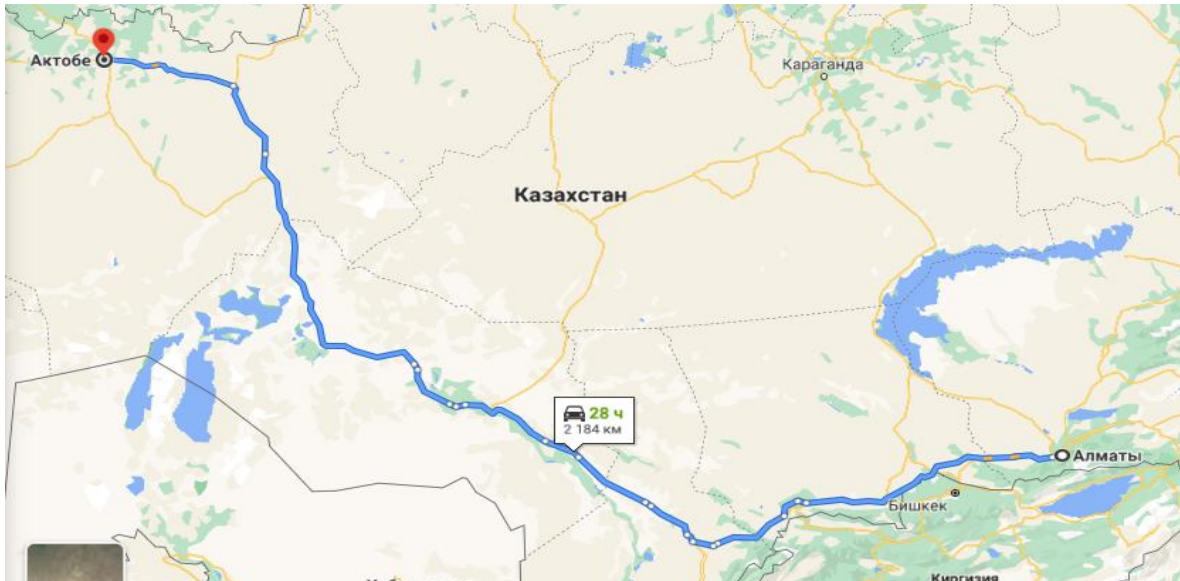


Figure 1. Shipping route Almaty-Aktobe source [10]

Substituting all the values into the formula, we calculate the fuel consumption for the entire route. The cost per 1 kilowatt takes into account the cost of the first level of electricity cost. But the cost of diesel varies by region. Therefore, the average value of 283 tenge per liter was used in the calculations.

Table 2. Comparative characteristics of fuel consumption per 100 km

Name	Tesla Semi	Mercedes-Benz Actros 6
Consumption per 100 km	100 -110 kW	24,5-30 liters
Consumption per 2184 km	$2184/100 \times 100 = 2184 \text{ kW}$	$2184/100 \times 24,5 = 535,08$ liters
Note — compiled by the author based on sources [6], [7], [8]		

From the calculations in Table 2, it is actually clear that the Tesla Semi truck requires 2,184 square meters on the entire route. To convert all the paths of the Tesla Semi, you need to make 2 full and one half charge. With the use of superchargers, it will take a total of no more than one hour. That is, the entire route in its total volume will take 28 hours, excluding traffic jams. Mercedes has

a tank from 450 to 1200 liters in its description. Table 3 shows the top discrepancies between the Tesla Semi and Mercedes-Benz Actros trucks.

Table 3. Fuel consumption of Tesla Semi and Mercedes-Benz Actros

Name	Tesla semi	Mercedes-Benz Actros,
The cost of fuel for the entire route	$2184 \times 25.82 = 56\,390,88 \text{ tg}$	$535,08 \times 283 = 151\,427,64 \text{ tg}$
Expenses for the whole year	$365 \times 24 = 8760 \text{ h},$ $8760/28 = 313 \text{ flights/year},$ $313 \times 56390,88 = 17\,650\,345,44 \text{ tenge}$	$365 \times 24 = 8760 \text{ h},$ $8760/28 = 313 \text{ flights/year},$ $313 \times 151427,64 = 47\,396\,851,32 \text{ tenge}$
Note - compiled by the author		

Over the entire journey, it can be seen that the fuel cost of electric trucks is 2.7 times less than that of a diesel truck. With annual maintenance, the cost of an electric truck is also 2.7 times less than that of a diesel truck. With an average annual turnover for such routes, an electric truck pays for itself in 4 years compared to a diesel truck.

Thus, we can say for sure that buying an electric truck will be the best optimization solution for long-distance cargo transportation. But the disadvantage remains the undeveloped infrastructure for the electrification of highways, the unavailability of the logistics transition to a new type of transport, the limited availability of personnel and special technical departments of services.

Every year, an increasing number of countries are gradually abandoning our usual vehicles powered by gasoline or diesel. In Europe, the USA, Australia and a number of other developed countries, there are even measures that promote the development of electric cars and limit the growth of non-ecological transport.

The engine of electric vehicles is powered by rechargeable batteries. Due to this, it does not require mechanical action, which has a positive effect on its operation. Compared to conventional truck engines, it has minimal wear. Also, the electric motor does not have many of the parts that are present in conventional engines. This saves a lot of money during repairs.

But at the same time, the owner of an electric truck should not forget about the scheduled maintenance of the battery. This is another guarantee that the engine will work its allotted time with a minimum number of failures.

And another important factor of electric motors is that they practically do not make noise. As a result, the city streets will not only be less polluted, but also quieter [11].

Previously, environmental friendliness was a trend, but now it is a necessity. To reduce harmful emissions, starting from April 1, 2023, the Almaty authorities have restricted entry to the territory of the Shymkent ski resort for all types of transport, except electric vehicles and special equipment. The global automotive industry, including the commercial vehicle segment, is actively switching to electric motors. Not only because of the environment, but also because of the economy. Driving has become very expensive due to rising fuel prices and maintenance costs.

There is also a growing number of resort and protected areas where the passage of vehicles with internal combustion engines is closed. After "Shymkent", "Medeo" is next in line. But there are a large number of catering outlets that not only deliver food, but also earn money on food delivery [12].

Conclusions

To summarize, electric trucks have great potential for use in various industries. They have advantages over traditional trucks such as fuel economy, low operating costs, lower environmental impact, and quiet operation.

The use of electric trucks has a number of positive results:

- reducing emissions of harmful substances. Electric trucks do not emit harmful substances during operation, as they do not use diesel fuel. This helps to reduce air pollution and improve the quality of the environment.;

- saving on fuel. Electric trucks run on electric energy, which is significantly cheaper than using traditional fuel. This allows you to reduce transportation costs and reduce the total cost of operating trucks.;

- quieter operation. Electric trucks are much quieter than traditional trucks. This can be especially important in urban areas and at night, so as not to disrupt the comfort of residents.;

- more efficient use of energy. Electric trucks have higher energy efficiency compared to traditional trucks with internal combustion. This means they can travel a longer distance on a single charge and can use the available energy more productively.;

- low maintenance costs. In the long term, the use of electric trucks can lead to lower overall operating costs. Electrical systems have fewer moving parts and require less maintenance and repair.;

- improved stability. Electric trucks can run on renewable energy, such as solar or wind energy, which helps reduce dependence on unstable supplies of traditional fuels.;

- ease of use. Without emissions of harmful substances, electric trucks can be used in premises such as warehouses or shopping malls, without fear of poisoning employees or customers [11].

Overall, the use of electric trucks has the potential to reduce environmental pollution and improve efficiency and economic sustainability in the trucking industry. However, for the further spread of electric trucks, it is necessary to develop the infrastructure of charging stations and increase the battery capacity of these vehicles.

Currently, electric trucks are actively developing and finding their application in urban delivery, logistics, the construction industry and many other areas. Technological progress in the field of electric vehicles continues, which makes it possible to increase the efficiency and range of electric trucks.

However, it is worth noting that for electric trucks to be widely used, a number of problems need to be solved, such as developing the infrastructure of charging stations, increasing battery capacity, reducing charging time and reducing production costs. However, given the growing interest in electric vehicles and the desire for sustainable development, the use of electric trucks may become an integral part of the future of the automotive industry and trucking.

The contribution of the authors

O.V. Garmash– concept, resources, supervision, analysis, resources, drafting, editing.

M. A. Gozhakhmetova – data collection, testing, concept, methodology.

G.V. Muratbekova– funding acquisition, drafting, editing.

I.Zh. Assilbekova – methodology, drafting, interpretation.

M. E. Kalekeyeva– analysis, visualization, data processing.

References

1. Shelmakov, S.V. Ecotransport: textbook. manual / S.V.Shelmakov. Moscow: MADI, 2018.160c.
2. Kalekeyeva M.E., Muratbekova G.V., Zhardemkyzy S., Albanova A. Introduction of digital technologies in the field of passenger and freight transportation / KazATK Bulletin, No. 1 (130) – 2024, pp. 119-129
3. Garmash O.V., Kalekeyeva M.E., Muratbekova G.V., Konakbai Z.E., Asilbekova I.J. Application of modern technologies in warehouse cargo handling / Bulletin of KazATK, No. 3 (132) – 2024, pp. 140-148
4. Skarbovich, S. A. Ecotransport / S. A. Skarbovich; scientific direction by S. L. Trishina // Ecology. Human. Business: a collection of materials of the international scientific and practical conference, Minsk, October 26, 2022 / Educational Institution "Belarusian State University of Economics", Faculty of Marketing and Logistics; [editorial board: E. V. Gusakov (editor) and others]. - Minsk: Kolograd, 2022. – pp. 281-283.
5. Semi - the future of freight transportation lies with electricity // [Electronic resource]. – 2020. - URL: <https://www.tesla.com/semi> (it was available on 13.10.2024)
6. Mercedes-Benz Actros. Wikipedia website // [Electronic resource]. 2021. - URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Mercedes-Benz_Actros (it was available on 11/10/2024)
7. Tesla Semi. Wikipedia website // [Electronic resource]. 2020. - URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Tesla_Semi (it was available on 10.10.2024)
8. An online marketplace for the sale of cars from Europe "Truck1.Eu " // [Electronic resource]. - 2022. URL: <https://www.truck1.eu/tractor-units/mercedes-benz/actros/euro-6> (it was available on 09/10/2024)
9. There are 180 charging stations for electric vehicles in Kazakhstan. [electronic resource]. - 2022. URL: <https://www.zakon.kz/obshestvo/6423259-vsego-180-stantsiy-dlya-zaryadki-elektromobiley-naschitali-v-kazakhstane.html> (it was available on 09/13/2024)
10. The official website of Google // [Electronic resource]. - 2021. - URL: <https://www.google.com/maps/> (was available on 09/10/2024)
11. The pros and cons of electric trucks. // [Electronic resource]. 2022. - - URL: https://auto.rambler.ru/navigator/42902894/?utm_content=auto_media&utm_medium=read_more&utm_source=copylink (was available on 11/13/2024) Electric trucks are planned to be produced in Kazakhstan // [Electronic resource]. - 2023. - URL: <https://kapital.kz/business/116908/v-kazakhstane-planiruyut-vypuskat-elektricheskiye-gruzovyye-avtomobili.html> (it was available on 13.10.2024)

**О.В. Гармаш, М.Е. Қалекеева, Г.В. Мұратбекова, И.Ж. Асильбекова,
М.А. Гожахметова**

Азаматтық авиация академиясы, Алматы, Қазақстан

Қазақстан Республикасында электр жүктерін пайдалану мүмкіндіктері

Аңдатпа. Бұл зерттеуде Қазақстан Республикасында электр жүк тасығыштарды пайдалану мүмкіндігі қарастырылады. Бұл тақырыптың өзектілігі электромобильдерге деген қызығушылықтың және көліктің экологиялылығының едәуір өсуі жүк автомобильдері үшін баламалы энергия көздерін іздеу қажеттілігін тудырады. Электр жүк тасығыштар Қазақстанда бензинмен немесе дизельмен жұмыс істейтін дәстүрлі жүк көліктерін. Электр жүк тасығыштардың басты артықшылығы төмен пайдалану шығындарында және атмосфераға зиянды заттар шығарындыларының болмауында, бұл ауа сапасын жақсартады және қалалардың экологиялық тұрақтылығына ықпал етеді. Аталған зерттеудің мәні Қазақстанда электр жүк тасығыштарды енгізу аспектілері, сондай-ақ зарядтау инфрақұрылымы, логистика проблемалары және мемлекеттік қолдау мүмкіндіктері болып табылады. Осы зерттеудің мақсаты Қазақстан Республикасында электр жүк тасығыштарды пайдалану мүмкіндігін анықтау болды. Осы мақсатқа қол жеткізу үшін көлік компанияларының қызметіне талдау жүргізілді, сондай-ақ жүк көлігіне іштен жану қозғалтқышы және электр қозғалтқышы бар салыстырмалы талдау жүргізілді. Логикалық және құрылымдық талдаулар осы зерттеудің әдіснамалық негізіне айналды. Жұмыс барысында жалпы теориялық, статистикалық, ғылыми деректерге негізделген жүйелік-құрылымдық талдау пайдаланылды. Алынған нәтижелер бойынша электр жүк тасығыштарды пайдалану көлік компаниялары үшін де, қоршаған орта үшін де тиімді, бірақ жеткіліксіз дамыған көлік инфрақұрылымы экологиялық көлікті пайдалануды тежейді деген қорытынды жасауға болады.

Түйін сөздер: көлік компаниялары, электр жүк тасымалдаушылар, қоршаған орта, көлік инфрақұрылымы, логистика.

**О.В. Гармаш, М.Е. Қалекеева, Г.В. Муратбекова, И.Ж. Асильбекова,
М.А. Гожахметова**

Академия гражданской Авиации, Алматы, Қазақстан

Возможности использования электрогрузовиков в Республике Казахстан

Аннотация. В данном исследовании рассматривается возможность использования электрогрузовиков в Республике Казахстан. Актуальность данной темы обусловлена тем, что значительный рост интереса к электромобилям и экологичности транспорта вызывает необходимость в поиске альтернативных источников энергии для грузовых автомобилей. Электрогрузовики являются одним из перспективных вариантов замены традиционных грузовиков, работающих на бензине или дизеле, в Казахстане. Главное преимущество электрогрузовиков заключается в низких эксплуатационных издержках и отсутствии

выбросов вредных веществ в атмосферу, что улучшает качество воздуха и способствует экологической устойчивости городов. Предметом данного исследования являются аспекты внедрения электрогрузовиков в Казахстане, а также зарядной инфраструктуры, проблемы логистики и возможности государственной поддержки. Целью данного исследования стало определение возможности использования электрогрузовиков в Республике Казахстан. Для достижения данной цели был проведён анализ деятельности транспортных компаний, а также проведён сравнительный анализ грузового транспорта с двигателем внутреннего сгорания и электрическим двигателем. Методологической основой данного исследования стали логический и структурный анализы. В ходе работы был использован системно-структурный анализ, основанный на общетеоретических, статистических, научных источниках. По полученным результатам можно сделать вывод, что использование электрогрузовиков выгодно как для транспортных компаний, так и для окружающей среды, но недостаточно развитая транспортная инфраструктура сдерживает использование экологического транспорта.

Ключевые слова: транспортные компании, электрогрузовики, окружающая среда, транспортная инфраструктура, логистика.

References

1. Shelmakov, S.V. Ecotransport: textbook. manual / S.V.Shelmakov. Moscow: MADI, 2018.160с.
2. Kalekeyeva M.E., Muratbekova G.V., Zhardemkyzy S., Albanova A. Introduction of digital technologies in the field of passenger and freight transportation / KazATK Bulletin, No. 1 (130) – 2024, pp. 119-129
3. Garmash O.V., Kalekeyeva M.E., Muratbekova G.V., Konakbai Z.E., Asilbekova I.J. Application of modern technologies in warehouse cargo handling / Bulletin of KazATK, No. 3 (132) – 2024, pp. 140-148
4. Skarbovich, S. A. Ecotransport / S. A. Skarbovich; scientific direction by S. L. Trishina // Ecology. Human. Business: a collection of materials of the international scientific and practical conference, Minsk, October 26, 2022 / Educational Institution "Belarusian State University of Economics", Faculty of Marketing and Logistics; [editorial board: E. V. Gusakov (editor) and others]. - Minsk: Kolograd, 2022. – pp. 281-283.
5. Semi - the future of freight transportation lies with electricity // [Electronic resource]. – 2020. - URL: <https://www.tesla.com/semi> (it was available on 13.10.2024)
6. Mercedes-Benz Actros. Wikipedia website // [Electronic resource]. 2021. - URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Mercedes-Benz_Actros (it was available on 11/10/2024)
7. Tesla Semi. Wikipedia website // [Electronic resource]. 2020. - URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Tesla_Semi (it was available on 10.10.2024)
8. An online marketplace for the sale of cars from Europe "Truck1.Eu " // [Electronic resource]. - 2022. URL: <https://www.truck1.eu/tractor-units/mercedes-benz/actros/euro-6> (it was available on 09/10/2024) There are 180 charging stations for electric vehicles in Kazakhstan. [electronic resource]. - 2022. URL:

- <https://www.zakon.kz/obshestvo/6423259-vsego-180-stantsiy-dlya-zaryadki-elektromobiley-naschitali-v-kazakhstane.html> (it was available on 09/13/2024)
9. The official website of Google // [Electronic resource]. - 2021. - URL: <https://www.google.com/maps/> (was available on 09/10/2024)
10. The pros and cons of electric trucks. // [Electronic resource]. 2022. - - URL: https://auto.rambler.ru/navigator/42902894/?utm_content=auto_media&utm_medium=read_more&utm_source=copylink (was available on 11/13/2024)
11. Electric trucks are planned to be produced in Kazakhstan // [Electronic resource]. - 2023. - URL: <https://kapital.kz/business/116908/v-kazakhstane-planiruyut-vypuskat-elektricheskiye-gruzovyye-avtomobili.html> (it was available on 13.10.2024)

Information about the authors:

Garmash O.V. - c.t.s., Associate Professor, Academy of Civil Aviation, st. Akhmetova 44, 050039, Almaty, Kazakhstan, 8-777-087-36-19, e-mail: olm78@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-0519-4807>

Kalekeyeva M.E. – doctoral student in the specialty “Aviation Engineering and Technology”, JSC “Academy of Civil Aviation”, st. Akhmetova 44, 050039, Almaty, Kazakhstan, 8-707-199- 00-58, kalekeyeva.m@mail.ru

Muratbekova G.V. – c.t.s., docent, “Academy of Civil Aviation”, st. Akhmetova 44, 050039, Almaty, Republic of Kazakhstan, 8-701-414-04-07, gv170471@mail.ru

Assilbekova I.Zh. - c.t.s., associate professor, professor, Academy of Civil Aviation, st. Akhmetova 44, 050039, Almaty, Kazakhstan, e-mail: a.indira71@mail.ru

Gozhakhmetova M.A.- assistant Lecturer at the Academy of Civil Aviation, 44 Akhmetov St., 050039, Almaty, Republic of Kazakhstan, 8-705-355-88-66, e-mail: kdrvmd@mail.ru

Гармаш О.В. – к.т.н, ассоциированный профессор Академии Гражданской Авиации, Академия Гражданской Авиации, ул. Ахметова 44, 050039, г.Алматы, Республика Казахстан, 8-777-087-36-19, e-mail: olm78@mail.ru

Қалекеева М.Е. – докторант по специальности «Авиационная техника и технологии», АО «Академия гражданской авиации», ул. Ахметова 44, 050039, г.Алматы, Республика Казахстан, 8-707-199-00-58, kalekeyeva.m@mail.ru

Муратбекова Г.В. - к.т.н, доцент, профессор Академии Гражданской Авиации, Академия Гражданской Авиации, ул. Ахметова 44, 050039, г.Алматы, Республика Казахстан, 8-701-414-04-07, e-mail: gv170471@mail.ru

Асильбекова И.Ж. - к.т.н, доцент, профессор Академии Гражданской Авиации, ул. Ахметова 44, 050039, г.Алматы, Республика Казахстан, 8-701-355-34-69, e-mail: a.indira71@mail.ru

Гожахметова М.А. – ассистент-преподаватель Академии Гражданской Авиации, ул. Ахметова 44, 050039, г.Алматы, Республика Казахстан, 8-705-355-88-66, e-mail: kdrvmd@mail.ru

Гармаш О.В. – т.ғ.к, ассоциированный профессор, Азаматтық авиация академиясы, Алматы, Ахметова көшесі 44, Қазақстан Республикасы, 8-777-087-36-19, e-mail: olm78@mail.ru

Қалекеева М.Е. – «Авиациялық техника және технологиялар» мамандығының докторанты, «Азаматтық авиация академиясы» АҚ, Ахметова көшесі, 44, 050039, Алматы қ., Қазақстан Республикасы, 8-707-199-00-58, kalekeeva.m@mail.ru

Мұратбекова Г.В. - т.ғ.к, доцент, профессор, Азаматтық авиация академиясы, Алматы, Ахметова көшесі 44, Қазақстан Республикасы, 8-701-414-04-07, e-mail: gv170471@mail.ru

Асильбекова И.Ж. - техника ғылымдарының кандидаты, доцент, профессор, Азаматтық авиация академиясы, Алматы, Ахметова көшесі 44, Қазақстан Республикасы, 8-701-355-34-69, e-mail: a.indira71@mail.ru

Гожахметова М.А. - Азаматтық авиация академиясының ассистент-оқытушысы, Ахметов көшесі 44, 050039, Алматы қ., Қазақстан Республикасы, 8-705-355-88-66, e-mail: kdrvmd@mail.ru



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 67.25.03

Научная статья

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-151-2-120-136>

Модель градостроительного развития города Астаны в первой половине XX века

А.М. Мулдагалиева^{1,2} , Т.Т. Мусабаев^{1,3} , С.Э. Мамедов³ 

¹РГП «Госградкадастр», г.Астана, Казахстан

²Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина, г.Астана, Казахстан

³Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

E mail: muldagaliyeva.ainur@gmail.com

Аннотация. В данной статье приведен ретроспективный анализ формирования линейной системы расселения населения, историческое развитие и применение данной концепции в городах советской эпохи, которое впоследствии повлияло на градостроительные аспекты современных населенных пунктов. В работе рассмотрены ключевые тенденции расселения населения вдоль основных транспортных коридоров, вблизи крупных производственных предприятий, а также их влияние на особенности градостроительных структур. Изучены основополагающие концепции линейных поселений, разработанных испанским инженером Артуро Сория-и-Мата и Вальтером Гропиусом, а также реализация социалистических городов в Советском Союзе. Изучение примеров городов, таких как Магнитогорск, и их развитие в рамках модели «нового расселения» позволили проанализировать и исследовать изменения применительно к планировочной концепции города Астана, переход от линейной структуры к более комплексной, отражая трансформацию социально-экономических условий. В статье выявлены как положительные, так и негативные аспекты линейного расселения населения с акцентом на его ограниченность, зависимость от производственных мощностей и политических решений, а также необходимость формирования гибких инструментов в современных городских реалиях. Сформированная линейная система расселения легла в основу градостроительного развития города Астаны и нашла отражение в первом генеральном плане населенного пункта с необходимостью адаптации и трансформации в современном контексте.

Ключевые слова. Градостроительное планирование, линейный город, градообразующие предприятия, соцгород, урбанизация.

Поступила 4.02.2025. Доработана 11.02.2025. Одобрена 14.05.2025. Доступна онлайн 30.06.2025

*автор для корреспонденции

Введение

Вопрос расселения населения является одной из фундаментальных задач в призме развития государства. Расселение населения неразрывно связано с различными вехами развития общества в целом: промышленная и транспортная революция, освоение новых территорий, месторождений, развитие производства, тенденции урбанизации, агломерирования и т.д.

Расселение населения связано с освоением государствами своих территорий. Наиболее простыми к освоению являются незастроенные территории, развитие которых не ограничено сложившейся застройкой. Как только в этих районах начинают развиваться транспортные коридоры, системы расселения, изначально ограниченные отдельными очагами, начинают меняться. На основе таких изменений формируется новая градостроительная структура – линейная система расселения.

Линейные поселения развиваются, как правило, вдоль транспортных артерий, которые служат ключевым градоформирующим фактором. В качестве основы формирования линейного поселения может выступать водная артерия, автомобильная или железнодорожная магистраль. Транспортный коридор в отличие от большинства инфраструктурных объектов играет скорее градоформирующую нежели градообразующую роль. Градообразующими элементами зачастую выступают различные предприятия.

Таким образом, линейная система расселения – естественный исторически сложившийся этап урбанизации, сопровождавшийся ростом населенных пунктов преимущественно вдоль транспортных коридоров, развитие которых приводит к слиянию поселений. Как и любая форма расселения населения, линейная система расселения является отражением той эпохи и факторов, которые повлияли на ее развитие [1].

Методология

Методология исследования состояла в изучении различных литературных источников по заданной проблеме исследования, ретроспективном анализе, определении причин появления проблем, сильных и слабых сторон рассматриваемой модели расселения населения, формирования выводов и обобщения результатов.

В рамках ретроспективного анализа рассмотрены проблемы линейных городов через призму исторически сложившегося опыта, основных этапов развития данной концепции для понимания причины возникновения текущих проблем.

Посредством метода аналитического построения подробно рассмотрен советский опыт формирования линейных городов, основные аспекты данной модели, которые повлияли на структуру города Астаны в досточичный период, преимущественно в первой половине XX-го века.

Проведенный анализ позволил выявить основные причины появления проблем в контексте расселения населения, дать комплексную оценку всех факторов, которые влияют на развитие населенного пункта в совокупности.

Ретроспективный анализ

Первой в истории трансконтинентальной линейной системой расселения возможно считать поселения вдоль Великого Шелкового пути, ставшего причиной возникновения и развития многих городов и даже цивилизаций. Данная транзитная магистраль проходила от Китая через Среднюю Азию, Восточный Туркестан и Сирию к Риму. На данном караванном пути из очаговых поселений начали вырисовываться первые прототипы линейной организации населенных пунктов [2].

Одно из первых научных исследований линейной системы расселения принадлежит Артуро Сория-и-Мата, испанскому инженеру и датируется 1882 годом, стимулом к которому послужило интенсивное развитие транспорта и промышленности, а также взаимоувязанный рост городского населения [3].

Процесс индустриализации, характерный для многих стран, оказал значительное влияние на структуру расселения населения. В условиях стремительного развития инфраструктуры и промышленного производства создавались новые экономические и социальные связи, которые определяли размещение производственных объектов и распределение рабочей силы.

Промышленные предприятия локализовались в крупнейших городах либо вблизи месторождений, в местах добычи и обработки полезных ископаемых. Развитие транспортных систем, в свою очередь, вело к усилению мобильности населения, возможности маятниковой миграции к местам приложения труда, развитию первых прототипов агломерационных систем [4].

Приверженцы идеи линейного расселения считали, что такие города могут стать эффективным инструментом для децентрализации населения по всей стране, способны заменить любые другие населенные пункты и что сама сеть таких поселений будет гармонично встраиваться в географическую карту, безболезненно проходя через сельскохозяйственные территории.

Линейный концепт развития соцгородов

Говоря о советской эпохе формирования линейных городов, можно отметить, что данный концепт был частью политического волеизъявления.

Одним из ключевых аспектов градостроительного планирования в советский период была доминирующая бинарная логика, о которой пишут Лидин и Меерович в своей статье "The binary logic and the socialist city". Концепция социалистического города строилась на противопоставлениях, таких как центр – периферия, общественное – частное, план – хаос. Данные бинарные противоположности влияли на архитектуру и планирование городов в Советском Союзе, где внимание уделялось созданию функциональных и идеологических центров, поддерживающих социалистические ценности[5].

Развитие производительных сил непосредственно влияло на тенденции расселения населения. Формирование селитебных территорий, в свою очередь, осуществлялось по остаточному принципу, которому уделялось последнее значение.

Прежде всего, на первом месте стояла эффективность развития производства исходя из ресурсного потенциала территории. Власть сознательно шла на создание поселений, подчиненных интересам формирования промышленных производств, на которые уходили все ресурсы страны.

Такая концепция подразумевала полное искоренение неработающего населения, принуждение нетрудящихся к труду, так как все условия подталкивали к полному включению населения в трудовой процесс. Расчетно-нормативные показатели формирования соцгородов основывались на постулате, что в структуре населения будет только работающая категория.

Одним из примеров соцгородов стал конкурсный проект 1930 года «Магнитогорья», в рамках которого было представлено «Новое расселение человечества» бригады Стройкома РСФСР (М.А. Охитович, В.М. Владимиров, М.О. Барщ, Н.Б. Соколова и др.).

Целью проекта являлось распределение инфраструктурных и промышленных объектов и населения крупных городов вдоль транспортных магистралей, что позволяло снизить плотность застройки населенных пунктов[6].

В тот же период известным советским архитектором Н.А. Милютиным опубликована книга «Соцгород: Проблема строительства социалистических городов. Основные вопросы рациональной планировки и строительства населенных мест СССР», в которой детально проанализированы основные аспекты градостроительного планирования линейных городов (рис. 1).

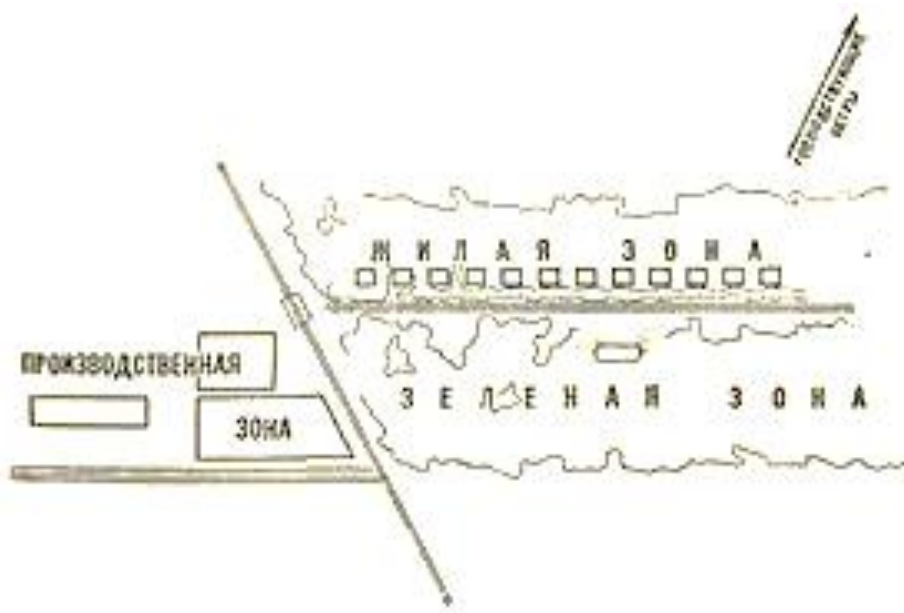
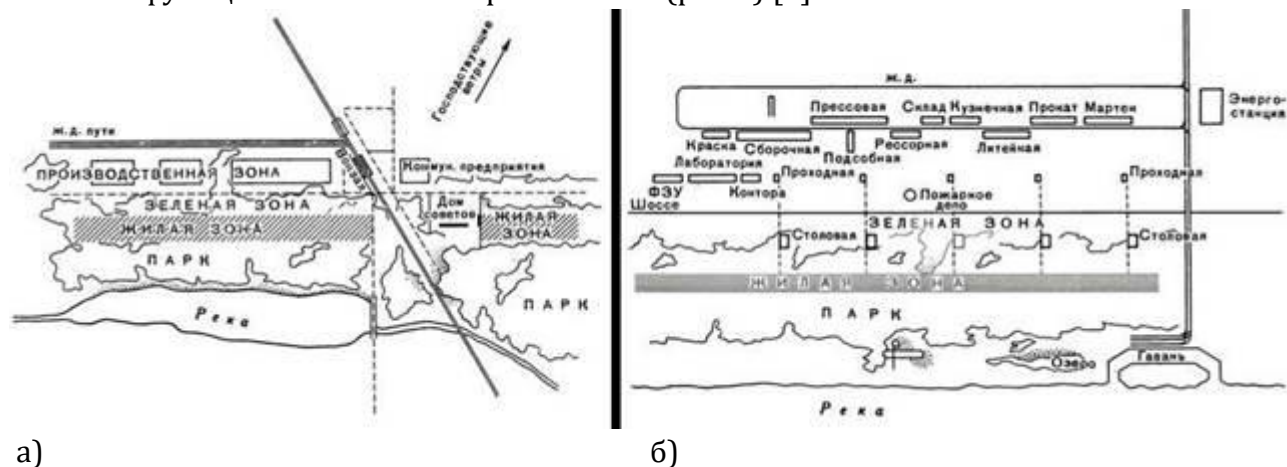


Рисунок 1. Н.А. Милютин. Схема планировки линейного города Магнитогорск [7]

Милютин рассматривал не только создание новых городов, но и возможность реконструкции существующих населенных пунктов. Реконструкция, осуществляемая по единому генплану, должна была привести к оздоровлению городской среды и способствовать стиранию разницы между городом и деревней, которая могла обеспечить поточно-функциональная схема расселения. (рис 2) [7]



а) б)
Рисунок 2. Н.А. Милютин. а) Схема планировки Магнитогорска по поточно-функциональной системе. б) Поточная схема планировки Нижегородского завода [7]

Н.Милютин рассматривал поточно-функциональную систему как каркас развития линейных поселений вдоль крупных транспортных коридоров, по которым перемещались производственные потоки, начиная от инициации проекта, сбора сырья вплоть до реализации готового продукта.

Основу концепции составляло параллельное зонирование, где жилая застройка сегрегировалась от промышленных зон зелеными территориями, где размещались объекты образования и здравоохранения, общепиты и проходные для заводов.

Линейная модель способствовала уменьшению расстояния между домом и работой, исключая необходимость пользования личным или общественным транспортом.

Оценивая взаимодействие жилой и промышленной зон при проектировании производственных объектов, учитывались природно-климатические факторы, включая розу ветров, инсоляцию, которые влияли на расположение и ориентацию улиц и зданий населенного пункта. При этом, транспортный коридор выступал в качестве основной планировочной оси населенного пункта, обеспечивая его взаимосвязь с другими территориями.

Таким образом, был сформирован новый детализированный алгоритм формирования промышленных городов.

В частности, в производственных районах, помимо складов, предусматривались коммунальные службы, обслуживающие как жилые зоны, так и промышленные объекты. «Детские зоны» в рамках общей планировочной структуры включали в себя дошкольные учреждения, учреждения среднего образования, интернаты/ общежития для детей и культурно-оздоровительные центры. Такой концепт поселка предложен Милютиным

рядом со Сталинградским тракторным заводом вдоль берега Волги [8].

Параллельно шел процесс внедрения в профессиональное сознание проектировщиков идеи принципиального отказа от индивидуальной жилой квартиры в качестве массового типа жилья с формированием домов-коммун. Это необходимо было для быстрого освоения необжитых территорий в максимально сжатые сроки.

В данном контексте речь шла о влиянии новой организации социалистического быта на характер расселения населения, максимальное обобществление быта, замене иерархической системы поселений на однородные системы из небольших городов.

Вместе с тем, положение о полном равенстве внутри таких поселений может быть дискутировано. Структура данных поселений так или иначе была иерархичной: индивидуальные дома – коттеджи для высшего начальства, квартиры – для среднего командного состава, общежития – для рабочих, для одиноких предназначались казармы [9]. Строились в определенном количестве и многоквартирные дома для рабочих, однако расселение происходило в таких жилищах в основном покомнатно-посемейно. К примеру, в 20-х годах трехкомнатная квартира предназначалась для трех семей. В 30-х годах данный подход сохранился, однако вместо капитальных строений в виде общежитий и домов, предназначенных для покомнатного расселения рабочих семей, появились примитивные бараки и дешевые землянки [10].

В 1926 году жилищная норма в СССР составляла для городского населения приблизительно 5,5 – 5,7 кв.м на человека. Вместе с тем, по официальным данным за первую пятилетку было построено 23 млн. кв.м жилья, что означало уменьшение средней нормы жилья до 4,7 кв.м по стране [9].

Более того, данный показатель был намного ниже в отдельных регионах СССР, к примеру, в 1932 г. в промышленных городах Урала норма жилья составляла 3,5 кв. м (от 4,2 кв.м в Свердловске до 1,6 кв.м в Магнитогорске) [10].

Весь быт выстраивался таким образом, чтобы создать максимальные условия вовлечения населения в трудовой процесс. В частности, ясли, детские сады и школы-интернаты должны были быть рассчитаны на 100% охват детей.

Градостроительное развитие населенного пункта складывалось, несомненно, в контексте политической и идеологической среды. Данная идея также прослеживается в исследовании ("Scientific skepticism and inequality: Political and ideological roots") Кэмпбелла и Кея относительно влияния политических решений на идеологические установки, включая градостроительство и реализацию городских проектов [11].

Таким образом, концепт соцгорода не ограничивался только формированием определенной планировочной структуры населенного пункта, полностью подчиненного интересам градообразующего предприятия, но и был продуман вплоть до структуры жилых домов, также базировавшейся на общей политической идеологии.

Очевидно, что в рассмотренном контексте советского периода идея линейного города заключалась в том, чтобы создать четкое функциональное зонирование, где контроль за всеми аспектами и сферами жизнедеятельности города централизованным.

Основной задачей было решение экономических вопросов, а не формирование комфортной социальной среды.

Линейная модель в контексте города Астана

Линейная система расселения имела также историческое значительное влияние на планировочный каркас и градостроительное развитие города Астаны.

Целиноград (ныне Астана) имел очень четкую структуру, основанную на линейном расселении, которая была предложена в генплане 1962 г. с разделением на три ключевые зоны: индустриальная зона в северной стороне от железной дороги, жилая зона в середине населенного пункта и зона рекреации с дачными массивами в южном направлении. Данная модель линейного города представляла советский идеализм, базировавшийся на плановой экономике. Каждый житель города имел удобный доступ от места работы к дому и рекреационным (зеленым) пространствам, благодаря параллельному расположению трех зон: индустриальной, жилой и парковой. Предполагалось, что данные три зоны могут расти параллельно друг с другом [12].

Линейно-полосовая планировочная структура города Целинограда была взаимоувязана с ландшафтно-географическими условиями территории, расположением на крупном транспортном автомобильно-железнодорожном узле, бурным индустриальным развитием города, превратившего промышленность в главный градообразующий фактор. В советский период в городе работали крупнейшие промышленные предприятия не только Казахстана, но и даже в контексте Советского Союза, такие как Целинсельмаш (выпуск сельскохозяйственной техники), Казахсельмаш (производство сельхозоборудования), заводы по изготовлению железобетонных изделий, газовой аппаратуры, керамических изделий, чугунолитейный, насосный, завод, прядильно-ниточный комбинат и другие предприятия, в которых работало около сотни тысяч рабочих и инженеров.

Промышленный кластер, куда входили производственные объекты, размещался с северной стороны железной дороги с подведением тупиковых железнодорожных веток для удобной логистики, перемещения сырья, товаров и грузов. Для регулирования соблюдения санитарно-защитных норм, жилая застройка размещались на достаточном удалении от источников загрязнения в соответствии с нормативными требованиями. Планировочная структура обеспечивала равноудаленный доступ населения к местам приложения труда и зеленым пространствам, благодаря параллельному зонированию.

В свою очередь, в первом генеральном плане г.Астаны в статусе столицы всемирно известным японским архитектором Кисе Курокава была заложена концепция метаболического города, также взаимоувязанная с линейным зонированием советского генплана. Существовавшие три зоны были подразделены на семь, включающие в себя северную лесополосу в качестве защиты от пыльных бурь, индустриальную зону, зеленую полосу для защиты городской среды, существовавшую застройку города, новую жилую зону, новый центр и южную зону экопарка. Метаболисты, к каковым относился Курокава, считали возможным к гибкому развитию как отдельных объектов, так и города в целом. По мнению Курокавы сформированная линейная система Астаны позволит городу развиваться эволюционно и сбалансированно [12].

Вместе с тем, существовали и альтернативные идеи развития города Астаны, основанные на постепенном отходе от линейного зонирования. Так, в 1996 году к разработке генерального плана города была привлечена локальная проектная компания «Ак Орда», которая предложила отойти от линейной системы градостроительного освоения населенного пункта с поперечным развитием в южном направлении через реку Ишим. Большая часть административных и деловых объектов планировалась к размещению на левом берегу водной артерии [12].

Линейная структура города, заложенная изначально в городе Астана, соотносилась с периодом активного развития производительных сил в советский период. Отказ «Ак Орды» от типичного линейного зонирования соцгородов с развитием населенного пункта поперек, было символической попыткой смены советских подходов к градостроительному планированию.

Отказ от линейно-полосового развития и переход на территориально-компактную радиальную схему как показало время явилось правильным решением, определяющим целесообразность линейного развития города, так как город потерял свою промышленную специализацию. Для сохранения линейного расселения промышленность должна оставаться ведущим градообразующими градоформирующим фактором.

Однако, немного позднее Главой государства был объявлен международный конкурс, победителем которого стал японский архитектор К.Курокава и подходы которого, не коррелировались с данной концепцией.

В целом, можно резюмировать, что начиная с 90-х годов кардинальным образом поменялись социально-экономические условия в городе и в стране в целом. Промышленные предприятия перестали быть градообразующим фактором, определяющим планировочную структуру территории города. Столичный статус привел к активизации развития сферы услуг, формированию новой экономической специализации города, связанной с сервисными и административными функциями города. Это все в совокупности привело к потере актуальности линейного зонирования населенного пункта [12].

Произошли значительные изменения, где задача формирования комфортных урбанистических пространств стала одной из приоритетных в контексте развития планировочной структуры и населенного пункта в целом. Повышение качества среды жизнедеятельности населения, создание условий для обеспечения потребностей жителей в общественных пространствах вело к усилению социальной составляющей в архитектуре и градостроительном планировании.

Развитие рыночных отношений и рост конкуренции девелоперов/ застройщиков выдвинули вперед необходимость ориентации на потребности и ожидания жителей. Социальный аспект стал играть важную роль в проектировании жилой и общественной застройки, развитии инфраструктуры, создании безопасной среды.

Из этого следует, что развитие архитектурно-пространственной среды неразрывно связано с экономикой и географическим положением территории и сопряжено с ее

особенностями. Социально-экономические преобразования влияют на потребности в качестве жилой среды, типологию, пространственно-планировочную структуру и архитектуру.

Актуальность данного вопроса обусловлена поиском решений по формированию жилой среды, сложившейся в результате процессов социально-экономических преобразований в обществе и необходимостью прогнозирования ее дальнейшего развития [13].

Таким образом, предыдущий подход «сверху вниз» к разработке градостроительных проектов, в частности генерального плана населенного пункта, базировался на волеизъявлении государства, где доминировали интересы развития производительных сил. Однако в текущих реалиях целесообразным является подход «снизу вверх», где главным компонентом города становится жилая среда. В крупных городах, таких как столичный регион, не должна существовать жесткая концепция, а должны быть сформированы алгоритмически разные варианты, которые позволяют гибко реагировать на различные факторы развития, адаптироваться. Вместе с тем, такой подход требует формирования четких инструментов-противовесов, позволяющих не допускать ухудшающее градостроительное освоение территории, контролировать нормативное соответствие, а также предусматривать высокую степень ответственности принимающих решения политических госслужащих.

Результаты и Обсуждение

Проведенный анализ показал определенные положительные и негативные аспекты, характерные для линейной системы расселения населения.

Концепция линейного города, несмотря на свою определенную утопичность и историческую политическую составляющую, оставила полезные идеи и принципы, которые можно адаптировать к современному градостроительству. Так, к положительным моментам данной модели можно отнести следующие факторы.

Природно-климатические факторы

Планировка линейного города учитывает природно-климатические условия и особенности ландшафта, природных объектов, включая учет розы ветров, инсоляции и т.д. Кроме того, обеспечивалась непосредственная связь населения с природой, заключавшаяся в пешей доступности зеленых пространств, равном доступе населения к паркам и скверам.

В условиях глобального изменения климата и экологической неустойчивости, необходимость комплексного анализа и учета природно-климатического контекста являются злободневной проблемой для современных городов, учитывая важность снижения негативного воздействия городов на окружающую среду, а также снижения издержек и затрат на энергообеспечение, развитие инфраструктуры и т.д.

Пешеходная доступность

Важным аспектом развития линейной модели планировки городов было обеспечение пешей доступности ключевых объектов и зон без необходимости использования транспорта. Идея «городов для людей» активно используется в

современных реалиях и уже включает такие элементы, как создание пешеходных и велосипедных маршрутов, минимизацию автомобильного трафика в жилых районах, строительство удобной инфраструктуры для пешеходов. Пешеходная доступность территорий не ограничивалась только близостью мест приложения труда, но и подразумевала наличие зеленых насаждений и рекреационных зон.

Детальная проработка градпроектов

Для линейной планировки города характерна детальная проработка всех структурных элементов, основывающаяся на научно обоснованных алгоритмах построения города, включая межевание территории, размещение жилья и производственных объектов, инфраструктуры. Таким образом, к планировке территории применялся комплексный подход, основанный на взаимоувязанном развитии. Через тщательную проработку всех аспектов возможно добиться эффективного использования городских территорий, формируя комфортное пространство для жизнедеятельности населения.

Комплексный контроль освоения территорий

Линейный город предполагал наличие строгого градостроительного контроля развития и застройки территорий, четкой координации всех планировочных решений. Современные города требуют не только соблюдения нормативных требований, но и возможности быстрого реагирования на динамично меняющиеся потребности общества, обеспечения инвестиционной привлекательности. Контроль за развитием города должен обеспечивать безопасность, экологическую устойчивость, доступ ко всей необходимой инфраструктуре жизнедеятельности. Вместе с тем, в текущих реалиях, важным аспектом является инклюзивность и возможность участия граждан в принятии градостроительных решений.

Кроме того, линейный город предполагал отсутствие сегрегации населения по принципу дохода с учетом их равного положения относительно планировочной структуры города, экономическое равенство населения.

Таким образом, концепция линейного города подразумевает ряд положительных принципов (взаимодействие с природой, создание доступной среды, детальная проработка планировочных элементов, комплексный контроль на всех этапах жизненного цикла развития населенного пункта), которые, в свою очередь, должны быть адаптированы к современным реалиям.

Вместе с тем, линейная модель расселения также имела существенные отрицательные стороны.

Ограниченность применения модели

Линейная модель зонирования территории имеет свои ограничения применения, так как она подходит преимущественно для небольших населенных пунктов с экономической специализацией промышленного или сельскохозяйственного производства. Модель линейного города является негибкой и работает до определенного предела, подходит к малым населенным пунктам с определенной экономической специализацией.

Тип планировочной структуры населенного пункта имеет прямую зависимость от производственных мощностей и мест приложения труда градообразующего предприятия, эффективной работы градообразующей группы населения. Развитие населенного пункта напрямую зависело от роста производительных сил, в ряде случаев монопроизводство.

Доминирующие политические установки

Доминирующим фактором формирования планировочной модели города являлось политическое решение, основанное на возможности управления населением с учетом установленного образа жизни: «дом – работа – дом», что являлось, с одной стороны, положительным фактором для управленцев, но вело к исключению активной жизнедеятельности человека вне работы. При этом, детальная проработка полной вертикали среды обитания населения – от функционального зонирования территорий до планировки жилья подчинена необходимости поддержания формируемой идеологии.

Резонансная и неустойчивая многофункциональность жилой зоны (дома коммуны) была навязана заданным образом жизни и общественным бытом.

Тотальная государственная собственность – производство, земля, жилье, подразумевала прямую зависимость людей от государства. Заказчик в роли государства определяли все критерии развития населенного пункта.

Неэффективное планирование территорий

Неэффективное планирование инженерных коммуникаций в связи с вытянутой планировкой населенного пункта, отсутствием компактного освоения территории приводит к удорожанию строительства инженерной инфраструктуры.

Отсутствие общественно-делового центра неизбежно ведет к минимальным коммуникациям и взаимодействию людей.

В данном контексте использование подходов линейного города без адаптации к современным условиям является неэффективным и нецелесообразным.

Заключение

Таким образом, концепт линейного города являлся преимущественно отражением советского периода и политического формата, в период которого формировалась соответствующая планировочная структура.

В современных условиях развития линейные системы поселения теряют свою актуальность и жизнеспособность. Линейная система расселения, способна адаптироваться к потребностям развития малых и средних городов, расположенных между более крупными городами, способствуя общему процессу развития сельского хозяйства, местной промышленности и сохранению самобытной историко-культурной среды. При этом, определенную роль могут также играть агломерационные процессы, стимулирующие потоки населения, товаров и услуг в пределах заданной транспортной изохроны.

Принципы и инструменты линейного города в определенной степени возможно использовать и сегодня, адаптируя их к современным условиям.

Линейный город с его доступной связью с природой, развитыми транспортными путями, современными жилыми кварталами и общественными зонами представляет собой

детально продуманный «идеальный» город. Однако линейная модель в чистом виде является утопичной, а ее основная проблема заключается в дальнейшем развитии населенного пункта, так как по мере расширения жилых районов возникала тенденция удалённости этих зон от мест работы.

Размышляя о применении линейной концепции в контексте генерального плана города Астаны, можно выделить несколько ключевых факторов, которые могли бы повлиять на решение о необходимости её использования с учетом адаптации.

В Астане, учитывая резкоконтинентальный климат, при градостроительном освоении территории особое внимание необходимо уделить климатическим условиям. Линейная концепция опирается на природные транспортные коридоры и оптимизацию климата. Однако, учитывая особенности местной экосистемы, линейная модель не обеспечивала нужный уровень комфорта и устойчивости развития города. Более эффективным могло быть использование концепции органичного распределения зелёных зон, водных объектов и рекреации с учётом климатических особенностей региона.

Линейная концепция акцентирует внимание на пешеходной доступности ключевых объектов города для обеспечения комфортного городского пространства. Вместе с тем, линейный подход с учетом вытянутости его структуры может привести к разорванности пространства, зависимости от транспортных потоков, особенно по мере роста населенного пункта. Радиальное или сеточное освоение является более удобным для передвижения населения.

Линейная концепция требует детализированного подхода, чтобы избежать уязвимых элементов структуры населенного пункта и негативных эффектов развития городской среды. Генеральный план города должен учитывать не только производственную и жилую застройку, транспортный каркас, но и социальную инфраструктуру, рекреацию, а также перспективы устойчивости развития населенного пункта в контексте с необходимостью охраны окружающей среды. Для столицы важна комплексная интеграция всех структурных элементов в более гибкой и многофункциональной планировке.

Исследование Латама, посвященное социальной инфраструктуре и общественной жизни городов, подчеркивает важность доступности и дизайна общественных пространств для поддержания социальных связей в городе. В контексте развития Астаны важно учитывать необходимость формирования инклюзивных и комфортных городских пространств [14].

Линейная модель предполагает строгий градостроительный контроль освоения территории. Вместе с тем, применение линейного подхода в динамично развивающихся реалиях с учетом сложившейся конъюнктуры рыночных отношений является невозможным. Таким образом, концепция жесткого зонирования территорий требует трансформации определенных компонентов, а также формирования гибких и одновременно неанархичных подходов с возможностью адаптации к изменениям и обеспечения качества жизни населения. Градостроительство, прежде всего, должно учитывать разнообразие потребностей, устойчивое развитие и комфорт для жителей, что

невозможно полностью обеспечить только с помощью модели линейного планирования населенных пунктов.

Вклад авторов:

Мулдагалиева А.М. – концепция, методология, ресурсы, сбор данных, написание, редактирование.

Мамедов С.Э. – моделирование, анализ, визуализация, интерпретация, редактирование.

Мусабаев Т.Т. – анализ, редактирование.

Список литературы

1. Хан-Магомедов С.О. Архитектура советского авангарда. – М.: Стройиздат, – 2001. – Кн. 2. / [Электрон. ресурс] – URL: https://www.alyoshin.ru/Files/publika/khan_archi/khan_archi_2_051.html#-1 (дата обращения: 21.12.2024)
2. Trade Lane Megacities. Ruta del Norte: Siberia. / [Электронный ресурс] –URL: <https://ireneses.wordpress.com/2014/03/19/trade-lane-megacities-ruta-del-norte-siberia/> (дата обращения: 21.12.2024).
3. Алексашина В.В. Идеальный город в контексте философии, экологии, архитектуры. /Academia. Архитектура и строительство. – 2008. – № 3. – с. 41 – 49.
4. Фешина Л.К. Методические указания для студентов специальности 070601 – Дизайн, / СПб.: СПГУТД, 2008 / [Электронный ресурс] – URL: <https://poisk-ru.ru/s13510t8.html> (дата обращения: 21.12.2024)
5. Lidin K., Meerovich M., Malko A. The binary logic and the socialist city: projectbaikal. – 2021. – 18(68):46-49, DOI:10.51461/projectbaikal.68.1801
6. Охитович М.А., Барщ М.О., Владимиров В.М., Соколова Н.Б. Магнитогорье // Современная Архитектура, 1930, № 1-2. – с. 38-51.
7. Рабинович В.И. Николай Александрович Милютин. / Мастера советской архитектуры об архитектуре. Избранные отрывки из писем, выступлений, статей и трактатов в двух томах. Том первый. / [Электронный ресурс] – URL: https://alyoshin.ru/Files/publika/mastera_sov_arch/mastera_sov_arch_1_049.html (дата обращения: 12.01.2025).
8. Милютин Н.А. Соцгород: Проблема строительства социалистических городов. Основные вопросы рациональной планировки и строительства населенных мест СССР. – М.-Л., 1930. – 81 с
9. Конышева Е.В., Меерович М.Г., Эрнст Май и Проектирование соцгородов в годы первых пятилеток на примере Магнитогорска
10. Хмельницкий Д. Архитектор Николай Милютин. Новое литературное обозрение. – М. – 2013. – 500 с
11. Campbell T., Kay A. Scientific skepticism and inequality: Political and ideological roots. Journal of Experimental Social Psychology. – 2014. – 53, 131–139. /

- [Электронный ресурс] – URL: <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2013.11.002>
12. Чиканаев А.Ш. Генеральный план Астаны: что и почему пошло не так? – Нур-Султан, 2020. – 182с.
13. Toishiyeva A.A., Mamedov S.E. Development of the Architecture of Residential Buildings from the Beginning of XX to XXI Century (By the Example of Astana). – Civil Engineering and Architecture. – 2023. – 11(3): 1220-1233, DOI: 10.13189/cea.2023.110308
14. Latham, A. Social infrastructure and the public life of cities: Studying urban sociality and public spaces. Geography Compass. – 2019. – 13(7), e12444, DOI: <https://doi.org/10.1111/gec3.12444>

А.М. Мулдағалиева^{1,2}, Т.Т. Мусабаев^{1,3}, С.Э. Мамедов³

¹РМК «Мемқалақадастр», Астана қ., Қазақстан

² С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ., Қазақстан

³ Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Астана қаласының қала құрылысын дамыту моделі XX ғасырдың бірінші жартысында

Аңдатпа. Бұл мақалада халықты қоныстандырудың желілік жүйесін қалыптастыруға, кеңес дәуіріндегі қалаларда осы тұжырымдаманың тарихи дамуы мен қолданылуына ретроспективті талдау келтірілген, ол кейіннен қазіргі заманғы елді мекендердің қала құрылысы аспектілеріне әсер етті. Жұмыста негізгі көлік дәліздері бойында, ірі өндірістік кәсіпорындардың жанында халықты қоныстандырудың негізгі үрдістері, сондай-ақ олардың қала құрылысы құрылымдарының ерекшеліктеріне әсері қаралды. Испан инженері Артуро Сория-и-Мата мен Вальтер Гропиус әзірлеген желілік қоныстардың негізге алынатын тұжырымдамалары, сондай-ақ Кеңес Одағындағы социалистік қалалардың іске асырылуы зерттелді. Магнитогорск сияқты қалалардың мысалдарын зерделеу және оларды «жаңа қоныстандыру» моделі шеңберінде дамыту Астана қаласының жоспарлау тұжырымдамасына қатысты өзгерістерді, әлеуметтік-экономикалық жағдайлардың өзгеруін көрсете отырып, желілік құрылымнан неғұрлым кешенді құрылымға көшуді талдауға және зерттеуге мүмкіндік берді. Пікірталас салдарынан мақалада халықтың шектеулі орналасуына, өндірістік қуаттар мен саяси шешімдерге тәуелділігіне, сондай-ақ қазіргі заманғы қалалық шындықтарда икемді құралдарды қалыптастыру қажеттілігіне назар аудара отырып, халықтың желілік орналасуының оң да, теріс де аспектілері анықталды. Қалыптастырылған қоныстандырудың желілік жүйесі Астана қаласының қала құрылысын дамытудың негізіне айналды және қазіргі заманғы контексте бейімдеу және трансформациялау қажеттілігімен бірге елді мекеннің бірінші бас жоспарында көрініс тапты.

Түйін сөздер: Қала құрылысын жоспарлау, желілік қала, қала құраушы кәсіпорындар, әлеуметтік қала, урбанизация.

A.M. Muldagalieva^{1,2}, T.T. Musabayev^{1,3}, S.E. Mamedov³

¹RSE "State Urban Cadastre", Astana, Kazakhstan

²S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana, Kazakhstan

³L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Model of urban development of the city of Astana in the first half of the XX century

Abstract. This article provides a retrospective analysis of the formation of the linear system of population settlement, historical development and application of this concept in the cities of the Soviet era, which subsequently influenced the urban planning aspects of modern settlements. The paper considers the key tendencies of population settlement along the main transport corridors, near large industrial enterprises, as well as their influence on the features of urban planning structures. The basic concepts of linear settlements developed by the Spanish engineer Arturo Soria y Mata and Walter Gropius, as well as the implementation of socialist cities in the Soviet Union are studied. The study of examples of cities such as Magnitogorsk and their development within the framework of the 'new settlement' model allowed us to analyse and investigate the changes in relation to the planning concept of the city of Astana, the transition from a linear structure to a more comprehensive one, reflecting the transformation of socio-economic conditions. As a result of the discussion, the article reveals both positive and negative aspects of linear settlement of the population, with emphasis on its limitations, dependence on production facilities and political decisions, as well as the need to form flexible tools in modern urban realities. The formed linear settlement system formed the basis of urban development of Astana city and was reflected in the first general plan of the settlement, with the need for adaptation and transformation in the modern context.

Keywords: Urban planning, linear city, urban planning, urban enterprises, social city, urbanization.

Reference

1. Khan-Magomedov S.O. Architecture of the Soviet avant-garde. - Moscow: Stroyizdat, - 2001. - Book 2. / [Electronic resource] - URL: https://www.alyoshin.ru/Files/publika/khan_archi/khan_archi_2_051.html#-1 (date of address: 21.12.2024).
2. Trade Lane Megacities. Ruta del Norte: Siberia. / [Electronic resource] -URL: <https://ireneses.wordpress.com/2014/03/19/trade-lane-megacities-ruta-del-norte-siberia/> (date of reference: 21.12.2024).
3. Aleksashina V.V. Ideal city in the context of philosophy, ecology, architecture. /Academia. Architecture and construction. - 2008. - № 3. - с. 41 - 49.
4. Feshina L.K. Methodical instructions for students of speciality 070601 - Design, / SPb.: SPGUTD, 2008 / [Electronic resource] - URL: <https://poisk-ru.ru/s13510t8.html> (date of address: 21.12.2024)

5. Lidin K., Meerovich M., Malko A. The binary logic and the socialist city: projectbaikal. – 2021. – 18(68):46-49, DOI:10.51461/projectbaikal.68.1801
6. Okhitovich M.A., Barshch M.O., Vladimirov V.M., Sokolova N.B. Magnitogorie // Modern Architecture, 1930, No. 1-2. - с. 38-51.
7. Rabinovich V.I. Nikolai Aleksandrovich Milyutin. /Masters of Soviet architecture about architecture. Selected extracts from letters, speeches, articles and treatises in two volumes. Volume one. / [Electronic resource] - URL: https://alyoshin.ru/Files/publika/mastera_sov_arch/mastera_sov_arch_1_049.html (date of reference: 12.01.2025).
8. Milyutin N.A. Sotsgorod: Problem of construction of socialist cities. Basic questions of rational planning and construction of populated areas of the USSR. - М.-Л., 1930. - 81 с
9. Konyshcheva E.V., Meerovich M.G. Ernst May and the Design of Socialist Cities in the Years of the First Five-Year Plan on the Example of Magnitogorsk.
10. Khmel'nitsky D. Architect Nikolai Milyutin. New Literary Review. - М. - 2013. - 500 с
11. Campbell T., Kay A. Scientific skepticism and inequality: Political and ideological roots. Journal of Experimental Social Psychology. – 2014. – 53, 131–139. / [Электронный ресурс] – URL: <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2013.11.002>
12. Chikanaev A.Sh. General plan of Astana: what and why went wrong? - Nur-Sultan, 2020. - 182с.
13. Toishiyeva A.A., Mamedov S.E. Development of the Architecture of Residential Buildings from the Beginning of XX to XXI Century (By the Example of Astana). – Civil Engineering and Architecture. – 2023. – 11(3): 1220-1233, DOI: 10.13189/cea.2023.110308
14. Latham, A. Social infrastructure and the public life of cities: Studying urban sociality and public spaces. Geography Compass. – 2019. – 13(7), e12444, DOI: <https://doi.org/10.1111/gec3.12444>

Сведения об авторах:

Мулдагалиева А.М. – PhD докторанты, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Бейбитшилик 73, 010000, Астана, Қазақстан
Мусабаев Т.Т. – Техника ғылымдарының докторы, профессор Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, ҚР ҰИА академигі, Мәңгілік ел көшесі, 8, 010000, Астана, Қазақстан
Мамедов С.Э. – PhD докторы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан 13, 010000, Астана, Қазақстан

Мулдагалиева А.М – Докторант PhD, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, ул.Бейбитшилик, 73, 010000, Астана, Казахстан
Мусабаев Т.Т. – Доктор технических наук, профессор ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, академик НИА РК, ул. Мангилик ел, 8, 010000, Астана, Казахстан
Мамедов С.Э – Доктор PhD, Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева, улица Кажымукана 13, 010000, Астана, Казахстан

Muldagaliyeva A.M. – PhD candidate, Kazakh Agrotechnical research university, Beibitshilik 73 str., 010000, Astana, Kazakhstan

Musabayev T.T. – Doctor of Technical Sciences, Professor of Eurasian National University named after L.N.Gumilyov, Academician of NIA RK, 8 Mangilik el str., 010000, Astana, Kazakhstan

Mamedov S.E. – PhD, Eurasian National university named after L.N.Gumilyov, Kazhymukan str. 13, 010000, Astana Kazakhstan



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 67.07.03

Научная статья

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-151-2-137-155>

Современные принципы формирования архитектуры комфортной жилой среды

А. Т. Алибаев* , Е. Н. Хван 

Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан

E mail: almaz.alibayev@bk.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию воздействия архитектурной среды на психологическое и эмоциональное состояние как отдельных людей, так и общества в целом. Рассматриваются негативные последствия массовой однотипной застройки, приводящей к снижению качества жизни и росту социальной напряженности. В статье раскрываются механизмы влияния различных архитектурных стилей на восприятие окружающего пространства, включая их влияние на настроение, поведение и даже физическое самочувствие. Особое внимание уделено значению зелёных насаждений и парков в городской среде, которые способствуют улучшению эмоционального климата, снижению уровня стресса и повышению социальной сплочённости. Также обсуждается роль цвета, света, форм и композиционных параметров в архитектуре, которые «программируют» восприятие пространства и способны вызывать определенные эмоциональные и поведенческие реакции у людей. В статье анализируются исследования известных архитекторов и учёных, посвящённые влиянию городской застройки на людей. Подчеркивается необходимость учета воздействия психологических аспектов при проектировании городской среды и анализа существующих городских пространств, которые одновременно реализуют функциональные задачи, воплощают эстетическую привлекательность с необходимым уровнем комфортности, тем самым улучшая качество жизни населения. Анализируется методика проектирования среды, направленная на создание гармоничных пространств, улучшающих качество жизни и психоэмоциональное состояние людей.

Ключевые слова: архитектурная среда, психологическое влияние, эстетическое разнообразие, планировочное решение.

Поступила 5.02.2025. Доработана 5.02.2025. Одобрена 16.05.2025. Доступна онлайн 30.06.2025

* автор по корреспонденции

Введение

Современные технологии и инфраструктура сформировали новый мир, удобный и предсказуемый, но далекий от естественной среды. Потеря связи с природой ослабляет нашу интуитивную способность приспосабливаться и чувствовать окружающий мир. Это также может вызывать чувство уязвимости и растерянности, поскольку мы привыкли полагаться на технологии и упорядоченные структуры [1]. Архитектура, в отличие от других искусств, в большей степени выполняет культурную функцию по нейтрализации человеческих страстей, способствуя их успокоению и восстановлению внутреннего равновесия. Если литература, философия и наука помогали человеку осознавать реальные угрозы и освобождаться от надуманных страхов, то архитектура через свои устойчивые ритмы и орнаментальные формы привносила в жизнь ощущение порядка, структуры и гармонии [2]. Архитектуру от науки отличает особый психологический аспект, придающий уникальность как самому творческому процессу, так и конечному результату, достигаемому архитектором. Можно сказать, что то, что отдаляет архитектуру от науки, в то же время приближает ее к искусству, и наоборот [5].

Актуальность. Где бы мы ни находились — дома, на работе, в учебных заведениях, учреждениях или местах отдыха — каждый день мы взаимодействуем с окружающей нас архитектурной средой. Нам очевидно, что она влияет на наши мысли, поведение и восприятие [1, 2]. Задача архитектора заключается в том, чтобы продумывать, как люди будут взаимодействовать с различными объектами – будь то природные или городские пейзажи, элементы архитектуры или сами люди. Он должен интегрировать эти аспекты в единое пространство, которое будет не только функциональным, но и эмоционально и интеллектуально насыщенным, побуждающим к размышлениям, общению и гармоничному существованию.

Восприятие окружающего пространства происходит в первую очередь через визуальные образы, и именно благодаря зрению мы наиболее точно улавливаем и ощущаем границы архитектурных форм. Визуальная информация поступает в мозг как непрерывный поток сменяющихся перспективных проекций объектов [3]. Гармоничные взаимосвязи линий, углов и цветовых решений между элементами архитектуры вызывают у людей чувство эстетического удовлетворения и психологического комфорта. Исследования таких видных архитекторов и ученых как Ян Гейл, Ле Корбюзье, Т. Липпс, Д. О. Саймондс, Н. А. Ладовский подчеркивают необходимость организации в архитектурной среде как можно большего количества уникальных зданий, благоприятно влияющих на ее восприятие.

Однако архитектурная среда может не только формировать положительные эмоции, но и вызывать дискомфорт, тревогу или раздражение. Важно учитывать, что восприятие архитектуры носит субъективный характер, и одно и то же здание может вызывать разные реакции у разных людей, в зависимости от их жизненного опыта, культурных особенностей и личных предпочтений. Поэтому для архитектора важным аспектом является глубокое изучение влияния различных элементов архитектурного объекта на психоэмоциональное состояние конкретного человека или группы людей, чтобы создавать среду,

способствующую улучшению их качества жизни, а также физического и психологического благополучия [4].

Целью исследования является выявление ключевых принципов архитектурного и градостроительного проектирования, которые способствуют формированию благоприятной для человека среды, создающей положительное восприятие и эмоциональный отклик. Исследование направлено на анализ влияния различных элементов архитектуры (например, ритма, формы и визуальных характеристик) на психоэмоциональное состояние пользователей, а также на разработку подходов, способствующих гармонизации архитектурного пространства с учетом потребностей современного общества в социальном и культурном контексте.

Методология

Выдвигаемая гипотеза (тезис). Определенные визуальные и пространственные элементы архитектуры (например, симметричность форм, нейтральные или теплые цветовые гаммы, наличие зелени) способны непосредственно влиять на уровень стресса и повышать уровень психологического комфорта человека. Выделенные в исследовании эстетические аспекты архитектуры могут быть использованы для создания комфортной городской среды, благоприятной для психоэмоционального здоровья человека.

В качестве методологии исследования используются следующие инструменты:

- анализ литературных и научных источников по данной теме исследования, позволяющие научно обосновать принципы современного формирования архитектуры жилой среды;
- исследование на основе анализа визуальных и пространственных характеристик зданий, формирующих современную архитектурную среду;
- теоретическая модель формирования комфортной, визуальной архитектурной среды.

Эта методология дает возможность объективно оценить и систематизировать влияние архитектурных форм жилой среды на эмоциональное состояние людей, что позволяет выдвинуть рекомендации по архитектурному проектированию.

Результаты и обсуждения

Массовая застройка как причина обезличивания городов

Современные вызовы, такие как урбанизация, перенаселение, изменение климата и изменения в энергетическом балансе планеты, заставляют нас пересматривать традиционные подходы к организации жизненного пространства. Мы вынуждены искать новые планировочные решения, которые не только помогут адаптироваться к меняющимся условиям, но и позволят сохранить психическое здоровье и эмоциональное благополучие людей.

Экономия ресурсов, как временных, так и финансовых, нередко приводит к упрощению архитектурных форм, что влечет за собой утрату уникальности и эстетической ценности зданий. Монотонная застройка, где доминируют однотипные формы и однотонные цветовые решения, лишает города индивидуальности, превращая их в

безликие пространства, например, как р-н Чертаново Северное, г. Москва, Россия (Рисунок 1). Это негативно сказывается на восприятии среды, снижает эстетическое удовольствие от взаимодействия с ней и может способствовать чувству отчуждения у жителей, а также приводить к появлению неблагополучных районов, где процветает преступность и часто случаются несчастные случаи.



Рисунок 1. Район Чертаново Северное, г. Москва, Россия

Однотипные постройки не вызывают у нас положительных эмоций, потому что мы, на биологическом уровне, стремимся к окружающей среде, которая предлагает нам определённую сложность, интригу и информационную насыщенность. Мы ищем пространства, которые взаимодействуют с нами, посылают визуальные и эмоциональные сигналы. Это стремление уходит гораздо глубже простого эстетического предпочтения к разнообразию – оно связано с нашим первобытным инстинктом к изучению и познанию мира [1].

Таким образом, одной из ключевых задач современных архитекторов становится поиск баланса между экономичностью, функциональностью и сохранением архитектурной идентичности, чтобы создаваемая среда не только обеспечивала комфортные условия для жизни, но и вдохновляла, способствовала формированию эмоциональной связи с местом и поддерживала культурные и духовные ценности общества [5].

Обзор научных исследований о влиянии архитектурных сооружений на восприятие человека

Осознание важности создания уникальной архитектурной среды предполагает обращение к трудам ученых и архитекторов прошлого и настоящего. Исследования датского архитектора Яна Гейла показали, что пешеходы склонны двигаться быстрее мимо однообразных и скучных фасадов, тогда как живые и приветливые улицы заставляют их замедляться и взаимодействовать с окружающей средой. Идеальный город должен быть спроектирован так, чтобы каждые пять минут прогулки пешеход встречал что-то новое и

интересное. Это открытие подчеркивает, что даже небольшие изменения в дизайне нижних частей фасадов (всего лишь на высоту до 3 метров) могут существенно повлиять на то, как люди используют и воспринимают городские пространства [1].

Великий архитектор XX века Ле Корбюзье отмечал, что дизайн является ключевым фактором, формирующим поведение людей. Эстетически привлекательные виды не только поднимают настроение, но и побуждают к активности, создают желание действовать и взаимодействовать с пространством [4]. Люди, живущие в удобных, красиво спроектированных городах с зелеными дворами, чувствуют себя более счастливыми. В такой среде дети развиваются лучше, а у пожилых сохраняется интерес к жизни и социальная активность. Архитектура, таким образом, становится не только средством создания функционального пространства, но и важным инструментом улучшения качества жизни и психоэмоционального состояния жителей города.

Среди попыток объяснить эстетическое воздействие стоит выделить теорию вчувствования, предполагающую, что мы переносим свои чувства и переживания на объект, создавая тем самым эстетический эффект. Немецкий психолог и философ Т. Липпс иллюстрирует эту идею, анализируя дорическую колонну: восприятие её сопротивления нагрузке превращается в "очеловечивающее" ощущение. Мы переносим на колонну свои чувства силы, стремления и воли, мысленно создавая образ собственных действий и ощущая те эмоции, которые сопровождают подобное усилие [3].

Архитектор Д. О. Саймондс делит эмоции на положительные и отрицательные, связывая оппозицию «удовольствие – неудовольствие» с функциональностью, заложенной в планировке архитектурного пространства. Каждый элемент функциональной организации пространства ассоциируется с восприятием, эмоциями и поведением человека, формируя типичные реакции в процессе его взаимодействия с окружающей средой. Ориентирование в пространстве строится на операционных схемах – опыте взаимодействия с объектами, что позволяет людям находить нужные ориентиры. Для ориентации в пространстве человек использует топологические отношения его структуры, значимые ориентиры и выделяет основные элементы, такие как доступные центры социокультурных ресурсов (близкие места), направления (пути и длительность) и зоны (области личного владения) [4].

Принцип интеграции элементов архитектурных стилей в современную жилую среду

Классическая архитектура демонстрирует безграничный потенциал архитектурного искусства в создании эмоционального отклика у зрителя. Используя архитектурные приемы, классика стремится к созданию идеального пространства, в котором каждый элемент оказывает эстетическое и эмоциональное воздействие, формируя глубокое восприятие и связь с окружением [2]. Архитектурные стили, такие как барокко, с его плавными линиями, криволинейными объемами и переходами, создают ощущение фантастичности и необычности, пробуждая воображение и приближая нас к переживанию чего-то волшебного и исключительного. Эти элементы придают пространству динамичность и живость, что стимулирует эмоциональное восприятие и вызывает ощущение чуда. Готический стиль, с его величественными и часто устрашающими формами, может вызывать в людях романтические настроения и побуждать к

философским размышлениям. Этот стиль, благодаря своей монументальности, вызывает в человеке ощущение возвышенности и таинственности (Таблица 1).

Таблица 1. Анализ психологического воздействия стилевых решений, формирующих облик жилых зданий

Жилой комплекс «Парижский квартал», г. Астана, Казахстан	
	Гармоничные пропорции, величественные формы и продуманные детали классической архитектуры способны пробуждать в человеке чувство возвышенности, торжественности и вдохновения. В современной архитектуре переосмыслением классических архитектурных стилей стал неоклассицизм. Этот стиль объединяет черты величия и декоративности прошлых эпох с актуальными требованиями функциональности и технологий.
«Edificio Vivalto», г. Кито, Эквадор	
	Стиль хай-тек может вызывать восхищение из-за его футуристичности, уверенность благодаря инженерной продуманности, но иногда и отчуждённость из-за минимализма. Хай-тек делает акцент на высокие технологии, что отражается в использовании инновационных материалов, инженерных решений и индустриальной эстетики. Конструктивные элементы здания (балки, трубы, вентиляция) часто оставляют на виду, превращая их в декоративные детали, придающие зданию художественную выразительность.
Жилой комплекс «Динамо», г. Новосибирск, Россия	
	Конструктивизм, основан на функциональности, рационализме и простоте. Он пробуждает в людях склонность к прагматизму, строгости и рассудительности. Этот стиль акцентирует внимание на технических аспектах и функциональности, делая пространство более сдержанным и минималистичным, но порой лишенным эмоциональной теплоты.

«Дом с майоликой» (Majolikahaus), г. Вена, Австрия

Архитектурный стиль - модерн. Его основная цель состоит в создании форм, которые органично связаны с природой что вызывает у зрителей позитивный отклик. В стиле активно используются элементы с мотивами природы такими как: вьющиеся растения, цветы, волны. Данные образы воплощаются в криволинейных формах, линиях, меняющихся по толщине, используемых в витражах, ограждающих конструкциях, скульптурах, орнаментах, колоннах и других конструктивных и декоративных элементах.

Пространственно-планировочные принципы формирования архитектурной среды

Познавательная потребность требует не только разнообразия окружающей среды, но и создания условий для ее осмысления и моделирования в сознании людей. Это означает формирование у человека целостного образа города, района, квартала или отдельного здания, сложного по своим функционально-планировочным характеристикам. Важным также является развитие релевантной, избирательной информации, которая влияет на деятельность и поведение человека в этой среде [2]. Городская планировка играет ключевую роль в создании комфортной и гармоничной среды для жизни. Важны такие аспекты, как высотность застройки, пропорции зданий, транспортная система и создание возможностей для комфортного передвижения пешком. Центральный парк в Нью-Йорке является выдающимся примером гармоничной интеграции природного пространства в плотную городскую застройку. Этот парк представляет собой оазис, где природа и архитектура взаимодополняют друг друга, создавая сбалансированное городское пространство (Рисунки 2а и 2б).



а) Общий вид парка



б) Генплан

Рисунок 2. Центральный Парк в г. Нью-Йорк, США

Среди методов объемно-пространственной организации архитектурных ансамблей можно выделить такие приемы, как акцентирование ключевых плоскостей, формирующих пространство; выделение значимых осей; продолжение в пространстве характерных формообразующих линий, включая воображаемые участки. Также важна уравновешенность элементов по массам, создание взаимосвязей между ними на основе пропорций и геометрического подобия, а также применение различных видов симметрии [2].

При создании архитектурной формы необходимо учитывать возможность возникновения иллюзий, возникающих, когда привычное представление сталкивается с необычными очертаниями объектов. Перспективные искажения легко появляются, если форма не связана с четко выраженными горизонтальными и вертикальными линиями, которые создают базовую прямоугольную ориентацию. Введение таких направлений может облегчить восприятие формы и придать ей ясность [3].

Исследования в области психологии и эстетики показывают, что прямые линии ассоциируются с ясностью, порядком и спокойствием, тогда как плавные и гибкие линии воспринимаются людьми как наиболее привлекательные и приятные. Они вызывают ассоциации с мягкостью, изяществом и красотой. В то же время, острые углы и линии передают ощущение жесткости и могут символизировать опасность. Прямоугольные формы передают рациональность и надежность, а каждая геометрическая фигура имеет свой уникальный символизм. Простые геометрические формы, такие как овал, легче воспринимаются и запоминаются по сравнению с более сложными фигурами [4]. Треугольник воспринимается как острый и динамичный, круг – как замкнутый, гладкий и гармоничный, символизируя единство, бесконечность и движение, такие как солнце или жизнь. Квадрат, в свою очередь, символизирует стабильность, силу и вечность, что делает его символом власти и устойчивости в архитектуре и дизайне.

Ритм, присущий многим природным и жизненным явлениям, является одним из ключевых факторов, влияющих на восприятие. Ритм – оптимальное количество возможных повторений элементов не меньше трёх, не больше десяти – пятнадцати при интервале не меньше 0,1 размера элемента [4]. В архитектуре, а также в изобразительном и декоративном искусстве, ощущение ритма формируется за счет чередования материальных элементов в пространстве. Для архитектуры ритм служит способом выражения динамики создаваемых пространств и закономерностей формирования формы, уравновешивая силы конструкции и отражая последовательность строительных операций. Помимо этого, ритм организует эмоциональное восприятие, становясь мощным и гибким средством воздействия, которое пробуждает эмоциональный отклик у зрителя в контакте с архитектурными формами [3].

Принципы интеграции зеленых насаждений в архитектуру жилой среды

В мегаполисах участки живой природы приобретают особую ценность, и близость к ним считается признаком престижности. Зеленые зоны должны не просто существовать, а быть гармонично интегрированы в городскую среду, оказывая положительное влияние на окружающую атмосферу: регулируя температуру, влажность и улучшая качество воздуха. Согласно данным исследований, в районах с большим количеством зеленых насаждений

уровень агрессии и преступности существенно ниже. Жители таких кварталов чаще взаимодействуют друг с другом, лучше знают своих соседей и демонстрируют высокий уровень социальной сплоченности. Это не только снижает вероятность психических расстройств, но и помогает предотвращать мелкие преступления, создавая безопасную и благоприятную городскую среду. Более того, растения могут быть расположены не только рядом с архитектурными объектами, но и непосредственно на самих зданиях (вертикальное озеленение), становясь частью их структуры. «Bosco Verticale» (Вертикальный лес) — это уникальный пример интеграции зелёных насаждений в архитектуру зданий (Рисунки 3а и 3б). Этот проект был разработан итальянским архитектором Стефано Боэри и реализован в 2014 году в Милане. «Bosco Verticale» представляет собой два жилых небоскрёба высотой 80 и 112 метров, на которых размещено около 800 деревьев, 4 500 кустарников и 15 000 многолетних растений. Такой тип озеленения не просто придает уникальный внешний облик, но способствует улучшению качества воздуха и снижению температуры здания.



а) Общий вид



б) Детали фасада

Рисунок 3. «Bosco Verticale», г. Милан, Италия

Помимо основных видов организации зеленых зон в структуре жилой среды (парки, скверы, сады) и уже упомянутого вертикального озеленения можно отметить такие виды как:

1. Зелёные крыши. Использование крыш зданий для размещения садов или газонов. Это снижает нагрузку на систему ливневой канализации, изолирует здание и улучшает его энергоэффективность.
2. Бульвары и зелёные улицы. Улицы, вдоль которых высажены деревья и кустарники снижают уровень шума, пыли и создают благоприятную для пешеходов среду.
3. Природные зоны вблизи воды. Обустройство зелёных насаждений вдоль рек, озёр или прудов. Эти зоны выполняют рекреационную функцию и обеспечивают биоразнообразие.
4. Атриумы и зимние сады. Озеленение внутри зданий, особенно в коммерческих или общественных объектах создает комфортный микроклимат и добавляют эстетическую ценность интерьерам.
5. Агропарки и городское фермерство. Интеграция сельскохозяйственных элементов

в городскую среду вблизи жилых кварталов. Примеры включают городские фермы на крышах или в общественных зонах.

6. Буферные зелёные зоны. Полосы зелени вдоль дорог, железнодорожных путей или промышленных объектов, которые служат для защиты жилых кварталов от шума, пыли и других загрязнений.

7. Рекреационные леса и заповедники. Крупные участки природных ландшафтов, интегрированные в городскую среду или на её периферии. Позволяют жителям жилых кварталов взаимодействовать с природой в её первозданном виде.

Принципы интеграции малых архитектурных форм в жилую среду

Архитектурная среда включает в себя не только здания, но и дворовые пространства, где происходит множество социальных взаимодействий. Эти территории играют важную роль в жизни горожан и могут быть обогащены малыми архитектурными формами, которые органично вписываются в общую композицию пространства. Скульптуры, лавочки, фонари и другие элементы могут не только украшать двор, но и способствовать созданию комфортной и функциональной среды для отдыха и общения, улучшая качество жизни и способствуя социальной активности жителей.

Наличие закрытой благоустроенной территории становится ключевым фактором при выборе элитной недвижимости, особенно для семей с детьми. Как пример можно привести жилой комплекс «TriBeCa Apartments» в г. Москва (Рисунок 4). Этот премиальный апарт-квартал предоставляет резидентам просторный внутренний двор, оформленный с продуманным ландшафтным дизайном, полностью закрытый и охраняемый. Такой подход не только гарантирует безопасность, но и создает комфортные условия для семейного отдыха, игр детей и приватности.



Рисунок 4. Внутреннее дворовое пространство «TriBeCa APARTMENTS», жилой комплекс в г. Москва, Россия

Принципы использования цвета, света и материалов фасада в архитектуре здания

Цвет зданий оказывает значительное влияние на восприятие и эмоциональное состояние людей. Постройки, окрашенные в яркие и светлые оттенки, сохраняют ощущение солнечного настроения даже в пасмурную погоду. Такие цвета необходимы для того, чтобы разбавить общую серость городской застройки. Например, красный цвет у большинства людей вызывает сильные эмоции, такие как возбуждение, ярость и гнев. Он способен увеличивать частоту сердцебиения, повышать кровяное давление, оказывая возбуждающее действие на нервную систему (Рисунок 5а). Темные оттенки синего, наоборот, создают успокаивающую атмосферу, способствуют физическому и ментальному расслаблению (Рисунок 5b). Желтый цвет ассоциируется с гармонией и умиротворением, он поднимает настроение, активизирует умственную деятельность и способствует ощущению радости (Рисунок 5с). Зеленый цвет вызывает чувства тепла, радости и энергии, снимая нервное напряжение и зрительное утомление (Рисунок 5d).



а) «Redstone Boutique Hotel», г. Рига, Латвия



б) «Melanchthon College Schiebroek»,
г.Роттердам, Нидерланды



с) Улицы г. Анакапри, Италия



д) «Lady Cilento», г. Брисбен, Австралия

Рисунок 5. Примеры воздействия колористических решений на восприятие зрителя

При выборе цвета для зданий необходимо учитывать не только его оттенок, но и «температуру». Холодные цвета, такие как голубой или светло-зеленый, ассоциируются с дневным временем, когда у человека больше энергии и активности. Теплые оттенки, например, оранжевый и красновато-коричневый, ассоциируются с вечером или утренним солнцем, когда организм находится в расслабленном состоянии. Правильный подбор цветовой гаммы может существенно улучшить восприятие архитектуры, создавая гармоничное и эмоционально комфортное пространство для жизни.

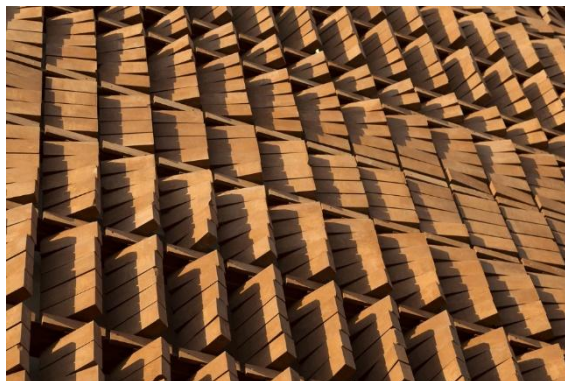
Естественное освещение играет важнейшую роль в поддержании здоровья и благополучия человека. Солнечный свет не только регулирует биологические ритмы и режим сна, но и оказывает положительное влияние на наше настроение, общее самочувствие и физическое состояние. По нормам строительных правил, естественное освещение в жилых зданиях регламентируется временем инсоляции (прямого солнечного освещения). Основные требования зависят от географического региона, ориентации здания и его функционального назначения. Согласно нормативам, жилые помещения (гостиные, спальни, детские) должны получать не менее 2 часов прямого солнечного света в день. В некоторых северных районах могут быть снижены требования к минимальному времени инсоляции из-за климатических условий. Для соблюдения норм важно учитывать ориентацию окон (юг, юго-восток, юго-запад) и возможное затенение соседними зданиями. На участках с наклонным рельефом предпочтительно размещать здания на возвышенности, чтобы минимизировать затенение. При планировке жилого массива должны учитываться параметры "угла света" и "расстояния между домами". Использование больших оконных проемов или панорамных окон на южной стороне способствует максимальному проникновению дневного света. Архитектурные выступы, балконы и козырьки не должны создавать лишних теней. Зонирование территории должно учитывать расположение детских площадок и зон отдыха на солнечной стороне, а также размещение парковочных зон или хозяйственных построек на теневой стороне участка. Эти нормы направлены на поддержание комфортного микроклимата, обеспечение благоприятных условий для здоровья и уменьшение потребности в искусственном освещении.

Материалы, используемые в отделке фасадов, влияют на тактильное восприятие зданий. Они позволяют создать уникальный облик постройки, который будет вызывать положительные эмоции у людей. Текстура и ощущение поверхности, будь то гладкость стекла, тепло дерева или шероховатость камня, формируют особое впечатление при взаимодействии с архитектурой. Правильно подобранные материалы могут не только улучшить визуальное восприятие здания, но и усилить эмоциональную связь с окружающей средой, делая пространство более комфортным и притягательным для пользователей. Примером оригинального архитектурного подхода в оформлении фасада можно назвать проект реставрации жилого здания «Cloaked in Bricks» в Тегеране (Рисунки 6а и 6б). Архитекторы реализовали концепцию фасада, покрытого сетью "отверстий", что придаёт монолитной структуре здания лёгкость и визуальную динамику. Выбор камня в качестве основного материала обусловлен его исторической значимостью и традиционным использованием в строительстве в Иране. Такое решение демонстрирует,

как можно создавать эстетически привлекательные сооружения, одновременно соблюдая экологические принципы.



а) Фасад



б) Детали фасада

Рисунок 6. «Cloaked in Bricks Residential», Тегеран, Иран

Таким образом проанализировав литературные и научные источники, а также проведя детальный разбор визуальных и пространственных характеристик зданий, которые формируют современную архитектурную среду, я выделил ключевые принципы создания благоприятного и комфортного пространства. Эти принципы учитывают экологические, эстетические, функциональные и социальные аспекты, что позволяет формировать комфортную архитектурную среду. Также в ходе работы были выявлены современные тенденции, подчеркивающие важность интеграции природы в архитектурную среду, создание пространств для взаимодействия людей и внедрение принципов устойчивого проектирования. Эти направления позволяют формировать среду, которая не только функциональна, но и способствует улучшению качества жизни, эмоционального состояния и укреплению социальных связей. Итоговые результаты и основные выводы представлены в инфографике для наглядного понимания и систематизации полученных данных (Рисунок 7). Все выявленные аспекты и принципы объединяются в единую систему подходов, направленных на комплексное улучшение архитектурной среды, с учетом баланса между эстетикой, функцией и устойчивостью. Представленная информация может быть использована архитекторами, проектировщиками и исследователями в дальнейшей работе над созданием гармоничной и функциональной среды, ориентированной на человека.



Рисунок 7. Теоретическая модель формирования архитектуры комфортной жилой среды

Закключение

Таким образом задачи архитектора охватывают не только проектирование планов и фасадов, но и глубокое понимание того, как его работа будет воздействовать на человека, влияя на восприятие, эмоции и поведение каждого, кто взаимодействует с пространством.

Это требует подхода, в котором архитектура не просто существует в окружении, но и гармонично сливается с природными и культурными элементами, создавая целостное, выразительное пространство.

Архитектору важно избегать монотонности и однообразия, уделяя внимание уникальным чертам каждого проекта. Создание оригинальных и выразительных зданий – не только внешняя задача, но и способ повысить эстетическую привлекательность и ценность городской среды, превращая её в пространство для вдохновения и комфорта. Разнообразие форм и линий в архитектуре стимулирует положительные эмоции и поддерживает интерес, создавая визуально насыщенную и психологически благоприятную среду.

Архитектура должна учитывать каждый аспект, влияющий на восприятие, включая формы, цвета, текстуры и материалы используемые в формировании образа жилой среды. Изящные и гармоничные линии, сбалансированные цвета и качественные материалы способствуют улучшению настроения и эмоционального состояния. Все элементы среды взаимодействуют в естественном освещении с окружением, создавая пространство, которое визуальное и тактильно должны гармонизировать и в то же время выполнять функциональные требования. Удачное применение материалов, мягкие, комфортные для восприятия линии и приятные текстуры положительно влияют на психологический комфорт и восприятие пространства.

Особое внимание стоит уделять зелёным зонам и природным элементам, способствующим снижению уровня стресса, созданию ощущения спокойствия и уединённости. Это могут быть как крупные парковые зоны, так и небольшие зелёные уголки в местах, где люди проводят своё время. Окружение природой помогает создавать связь с естественной средой, что доказано благотворно влияет на здоровье и восприятие окружающей обстановки. Озеленение выполняет также важную экологическую функцию, улучшая качество воздуха и помогая регулировать микроклимат.

Вклад авторов

Алибаев А.Т. – концепция, дизайн, методология, сбор и анализ данных, написание текста, утверждение окончательной версии, интерпретация результатов работы.

Хван Е.Н. – написание текста, редактирование, критический обзор содержания, утверждение окончательной версии.

Список литературы

1. Эллард К. Среда обитания: Как архитектура влияет на наше поведение и самочувствие. Пер. с англ. – М.: Альпина Паблишер, 2024. – 288с.
2. Забельшанский Г.Б., Минервин Г.Б., Рапапорт А.Г., Сомов Г.Ю. Архитектура и эмоциональный мир человека. – М.: Стройиздат, 1985. – 207с.
3. Иконников А.В. Художественный язык архитектуры. – М.: Искусство, 1985. – 105 с.

4. Шилин В.В. Архитектура и психология. Краткий конспект лекций. – Н. Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, 2011. – 66 с.
5. А. В. Степанов, Г. И. Иванова, Н. Н. Нечаев. Архитектура и психология: Учеб. пособие для вузов. — М.: Стройиздат, 1993. — 295 с.: ил.
6. Депрессия русских городов: серые многоэтажки. [Электронный ресурс] – 2019. – URL: https://pikabu.ru/story/depressiya_russkikh_gorodov_seryie_mnogoyetazhki_6403085 (дата обращения 29.09.2024).
7. The Bosco Verticale in Milan. [Электронный ресурс] – 2024. – URL: <https://italien.blog/en/the-bosco-verticale-in-milan/> (дата обращения 05.10.2024).
8. Красное здание в Риге. [Электронный ресурс] – 2022. – URL: <https://depositphotos.com/ru/editorial/red-building-riga-latvia-547458510.html> (дата обращения 09.10.2024).
9. Улицы Анакапри на закате. [Электронный ресурс] – 2020. – URL: <https://depositphotos.com/ru/photo/anacapri-streets-early-sunset-415172390.html> (дата обращения 09.10.2024).
10. Красивый фасад многоэтажного дома, сохраняющий иранские традиции. [Электронный ресурс] – 2020. – URL: <https://designerdreamhomes.ru/krasivyy-fasad-mnogoetazhnogo-doma-ot-studii-admun-design/> (дата обращения 17.10.2024).
11. Новые дворяне: премиальное благоустройство в Москве. [Электронный ресурс] – 2024. – URL: <https://www.frommillion.ru/magazine/novyie-dvorianie-priemialnoie-blaghoustroistvo-v-moskvie/> (дата обращения 28.10.2024).
12. Vivalto Building / Najas Arquitectos. [Электронный ресурс] – 2024. – URL: <https://www.archdaily.com/554963/vivalto-building-najas-arquitectos> (дата обращения 03.11.2024).
13. Дом общества «Динамо». [Электронный ресурс] – 2024. – URL: <https://airtraction.ru/doma-peterburga/4774-doma-v-stile-konstruktivizma-sankt-peterburg-99-foto.html> (дата обращения 05.11.2024).
14. Площадь Карлсплац. История Вены: от храма — до рынка. [Электронный ресурс] – 2024. – URL: <https://venagid.ru/12054-ploshhad-karlsplatz-istoriya-veny-ot-xrama-dorunka> (дата обращения 06.11.2024).
15. Центральный Парк в Нью-Йорке, США. [Электронный ресурс] – 2024. – URL: <https://ru.oddviser.com/united-states/new-york/central-park> (дата обращения 08.11.2024).
16. Влияние цвета на архитектуру. [Электронный ресурс] – 2020. – URL: https://www.archidizain.ru/2020/01/blog-post_3.html (дата обращения 10.10.2024).
17. Детская больница в Австралии. [Электронный ресурс] – 2015. – URL: <https://www.admagazine.ru/architecture/detskaya-bolnica-v-avstralii> (дата обращения 11.10.2024).

А. Т. Алибаев, Е. Н. Хван

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

Жайлы өмір сүру ортасының архитектурасын қалыптастырудың заманауи принциптері

Андатпа. Мақала архитектуралық ортаның жеке адамдардың да, жалпы қоғамның да психологиялық және эмоционалдық жағдайына әсерін зерттеуге арналған. Өмір сапасының төмендеуіне және әлеуметтік шиеленістің өсуіне әкелетін жаппай бір типті құрылыстың жағымсыз салдары қарастырылады. Мақалада әртүрлі архитектуралық стильдердің қоршаған кеңістікті қабылдауға әсер ету механизмдері, соның ішінде олардың көңіл-күйге, мінез-құлыққа және тіпті физикалық әл-ауқатқа әсері ашылады. Эмоционалды климатты жақсартуға, стресс деңгейін төмендетуге және әлеуметтік келісімді арттыруға ықпал ететін қалалық ортадағы жасыл кеңістіктер мен саябақтардың маңыздылығына ерекше назар аударылады. Сондай-ақ, кеңістікті қабылдауды "бағдарламалайтын" және адамдарда белгілі бір эмоционалды және мінез-құлық реакцияларын тудыруы мүмкін архитектурадағы түстің, жарықтың, пішіндердің және композициялық параметрлердің рөлі талқыланады. Мақалада қала құрылысының адамдарға әсері туралы белгілі сәулетшілер мен ғалымдардың зерттеулері талданады. Қалалық ортаны жобалау кезінде психологиялық аспектілердің әсерін ескеру және функционалды міндеттерді жүзеге асыратын, эстетикалық тартымдылықты қажетті жайлылық деңгейімен бейнелейтін, сол арқылы халықтың өмір сүру сапасын жақсартатын қолданыстағы қалалық кеңістіктерді талдау қажеттілігі атап өтіледі. Адамдардың өмір сүру сапасы мен психоэмоционалды жағдайын жақсартатын үйлесімді кеңістіктер құруға бағытталған қоршаған ортаны жобалау әдістемесі талданады.

Түйін сөздер: архитектуралық орта, психологиялық әсер, эстетикалық әртүрлілік, жоспарлау шешімі.

A.T. Alibayev, Y.N. Khvan

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Republic of Kazakhstan

Modern principles of forming the architecture of a comfortable living environment

Abstract. The article is devoted to the study of the impact of the architectural environment on the psychological and emotional state of both individuals and society as a whole. The negative consequences of mass construction of the same type, leading to a decrease in the quality of life and an increase in social tension, are considered. The article reveals the mechanisms of influence of various architectural styles on the perception of the surrounding space, including their influence on mood, behavior, and even physical well-being. Special attention is paid to the importance of green spaces and parks in the urban environment, which contribute to improving the emotional

climate, reducing stress levels and increasing social cohesion. The role of color, light, shapes and compositional parameters in architecture, which "program" the perception of space and are able to evoke certain emotional and behavioral reactions in people, is also discussed. The article analyzes the research of famous architects and scientists on the impact of urban development on people. It emphasizes the need to take into account the impact of psychological aspects in the design of the urban environment and the analysis of existing urban spaces, which simultaneously realize functional tasks, embody aesthetic attractiveness with the necessary level of comfort, thereby improving the quality of life of the population. The article analyzes the methodology of designing an environment aimed at creating harmonious spaces that improve the quality of life and the psycho-emotional state of people.

Keywords: architectural environment, psychological influence, aesthetic diversity, planning solution.

References

1. Ellard K. Sreda obitaniya: Kak arhitektura vliyaet na nashe povedenie i samochuvstvie. Per. s angl. – M.: Al'pina Publisher, 2024. – 288s.
2. Zabel'shanskij G.B., Minervin G.B., Rapapport A.G., Somov G.YU. Arhitektura i emocional'nyj mir cheloveka. – M.: Strojizdat, 1985. – 207с.
3. Ikonnikov A.V. Hudozhestvennyj yazyk arhitektury. – M.: Iskusstvo, 1985. – 105 s.
4. SHilin V.V. Arhitektura i psihologiya. Kratkij konspekt lekcij. – N. Novgorod: Nizhegorod. gos. arhit.-stroit. un.t, 2011. – 66 s.
A. V. Stepanov, G. I. Ivanova, N. N. Nechaev. Arhitektura i psihologiya: Ucheb. posobie dlya vuzov. — M.: Strojizdat, 1993. —295 s.: il.
5. Depressiya russkih gorodov: serye mnogoetazhki. [Elektronnyj resurs] – 2019. – URL: https://pikabu.ru/story/depressiya_russkikh_gorodov_serye_mnogoyetazhki_6403085 (data obrashcheniya 29.09.2024).
6. The Bosco Verticale in Milan. [Elektronnyj resurs] – 2024. – URL: <https://italien.blog/en/the-bosco-verticale-in-milan/> (data obrashcheniya 05.10.2024).
7. Krasnoe zdanie v Rige. [Elektronnyj resurs] – 2022. – URL: <https://depositphotos.com/ru/editorial/red-building-riga-latvia-547458510.html> (data obrashcheniya 09.10.2024).
8. Ulicy Anapapri na zakate. [Elektronnyj resurs] – 2020. – URL: <https://depositphotos.com/ru/photo/anacapri-streets-early-sunset-415172390.html> (data obrashcheniya 09.10.2024).
9. Krasivyy fasad mnogoetazhnogo doma, sohranyayushchij iranskie tradicii. [Elektronnyj resurs] – 2020. – URL: <https://designerdreamhomes.ru/krasivyy-fasad-mnogoetazhnogo-doma-ot-studii-admun-design/> (data obrashcheniya 17.10.2024).
10. Novye dvoryane: premial'noe blagoustrojstvo v Moskve. [Elektronnyj resurs] – 2024. – URL: <https://www.frommillion.ru/magazine/novyie-dvorianie-priemialnoie-blagoustrojstvo-v-moskvie/> (data obrashcheniya 28.10.2024).

11. Vivalto Building / Najas Arquitectos. [Elektronnyj resurs] – 2024. – URL: <https://www.archdaily.com/554963/vivalto-building-najas-arquitectos> (data obrashcheniya 03.11.2024).
12. Dom obshchestva «Dinamo». [Elektronnyj resurs] – 2024. – URL: <https://airtraction.ru/doma-peterburga/4774-doma-v-stile-konstruktivizma-sankt-peterburg-99-foto.html> (data obrashcheniya 05.11.2024).
13. Ploshchad' Karlsplac. Istoriya Veny: ot hrama — do rynka. [Elektronnyj resurs] – 2024. – URL: <https://venagid.ru/12054-ploshhad-karlsplatz-istoriya-veny-ot-xrama-do-rynka> (data obrashcheniya 06.11.2024).
14. Central'nyj Park v N'yu-Jorke, SSHA. [Elektronnyj resurs] – 2024. – URL: <https://ru.oddviser.com/united-states/new-york/central-park> (data obrashcheniya 08.11.2024).
15. Vliyanie cveta na arhitekturu. [Elektronnyj resurs] – 2020. – URL: https://www.archidizain.ru/2020/01/blog-post_3.html (data obrashcheniya 10.10.2024).
16. Detskaya bol'nica v Avstralii. [Elektronnyj resurs] – 2015. – URL: <https://www.admagazine.ru/architecture/detskaya-bolnica-v-avstralii> (data obrashcheniya 11.10.2024).

Сведения об авторах:

А.Т.Алибаев – магистрант 1 курса, архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, г. Астана, Казахстан. Телефон: +77086814336, E-mail: almaz.alibayev@bk.ru.

Е.Н. Хван – кандидат архитектуры, старший преподаватель кафедры «Архитектура», архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, г. Астана, Казахстан, телефон: +77014098242, E-mail: Khvan-72@mail.ru.

А.Т.Алибаев – 1 курс магистранты, сәулет-құрылыс факультеті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев 2 көшесі, Астана, Қазақстан. Телефон: +77086814336, E-mail: almaz.alibayev@bk.ru.

Е.Н. Хван – архитектура кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті Сәулет-құрылыс факультеті Сәулет кафедрасының аға оқытушысы, Сәтпаев 2 көшесі, Астана, Қазақстан, телефон: +77014098242, E-mail: Khvan-72@mail.ru.

A.T. Alibayev – 1st year Master's student, School of Architecture and Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpaev str. 2, Astana, Kazakhstan. Phone: +77086814336, E-mail: almaz.alibayev@bk.ru.

Y.N. Khvan – Candidate of Architecture (dissertation council), Senior lecturer L.N. Gumilyov Eurasian National University (ENU), Faculty of Architecture and Civil Engineering, Satpaev str. 2, Astana, Kazakhstan, phone: +77014098242, E-mail: Khvan-72@mail.ru



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



XFTAP 55.51.33
Шолу мақаласы

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-151-2-156-166>

Таспалы шөмішті элеваторларының қолданыстағы конструкцияларына шолу

Қ.Қ. Қуанышбекова ^{id}, Б.Б. Тогизбаева ^{id}, У.Ш.Кокаев ^{id},
М.Т.Сәрсенбаев ^{id}

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

E mail: kundyz0903@list.ru

Аңдатпа. Қазіргі уақытта шөмішті элеваторлар әртүрлі салаларда цемент, жер, құм, шымтезек, көмір, астық, ұн, химиялық материалдар және басқа да ұсақ, шаң тәрізді және кесек материалдар, сондай - ақ зиянды, қауіпті, сусымалы жүктерді тігінен тасымалдау үшін кеңінен қолданылады. Бұл құрылғыларға қойылатын негізгі талаптардың бірі - олардың жоғары сенімділігі, тасымалдау тиімділігі, қоршаған ортаны зиянды материалдардан, шаңнан қорғау. Шөмішті элеваторлар сусымалы жүктердерді жылжыту үшін әртүрлі салалар бойынша кеңінен қолданылатын көліктік және технологиялық жүйелердің маңызды элементі болып табылады. Бұл мақалада осы саладағы отандық және алыс шетелдік жетекші ғалымдарының еңбектері мен зерттеулері қарастырылған. Отандық ұйымдар пайдаланатын таспалы шөмішті элеваторларының қолданыстағы конструкциялары қаралды және әртүрлі ақпараттық көздерден (ғылыми мақалалар, авторефераттар және басқа да еңбектерден) жиналған шөмішті элеваторларының негізгі элементтері ұсынылды, олардың практикалық қолданудағы артықшылықтары мен кемшіліктері талданды. Тораптардың істен шығуы бойынша жүйеленген шөмішті элеваторларының негізгі ақаулары, сондай-ақ оларды шешу жолдары анықталды.

Түйін сөздер: шөмішті элеватор, сусымалы жүктер, тарту бөлігі, ақау, шөміш, таспа.

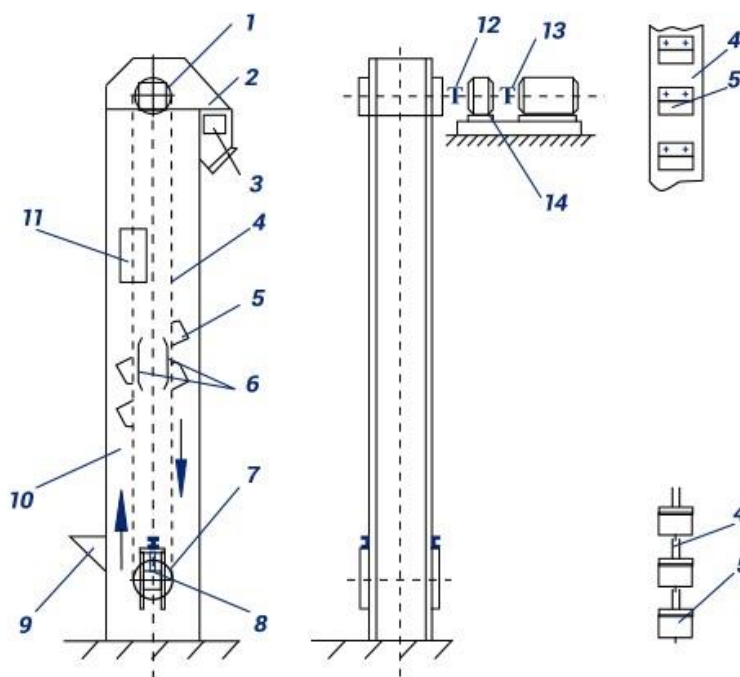
Кіріспе

Шөмішті элеватор - материалды үздіксіз жылжыту арқылы көтеруді жүзеге асыратын шөміштері бар тік таспалы конвейер. Оларды пайдалану тиімділігін арттыру айтарлықтай маңызға ие, өйткені энергия шығындарын азайтуға, өнімділікті арттыруға және пайдалану шығындарын азайтуға мүмкіндік береді. Бұл құрылғыларға қойылатын негізгі талаптардың бірі - олардың жоғары сенімділігі [1].

Қазіргі жағдайлар элеваторлардың жұмысын жақсарту, оларды нақты жұмыс жағдайларына бейімдеу және тозуды азайту үшін оңтайлы құрылымдық шешімдерді іздеуді талап етеді. Шөмішті элеваторлардың құрылымдық параметрлерін зерттеу және оңтайландыру жабдықтың тиімділігін арттыру, ресурстарды үнемдеу және өндірістік процестердің экологиялық тұрақтылығын жақсарту тұрғысынан өзекті болып табылады.

Мақаланың негізгі мақсаты - таспалы шөмішті элеваторларының (ТШЭ) қолданыстағы конструкцияларын қарастыру, элеваторлардың негізгі ақауларын, оларды шешу жолдарын және кемшіліктері тұжырымдалды.

Шөмішті элеватор - бұл сусымалы материалдарды үздіксіз тік тасымалдау үшін арнайы қолданылатын құрылғы. Ол басқа тасымалдау машиналарынан тік жабық тасымалдау мүмкіндігімен, көтеру биіктігімен, шағын өлшемдерімен және үлкен тасымалдау көлемімен ерекшеленеді. Негізгі құрылымдық элементтер-бұл корпус, жетек құрылғысы, шөміштері бар жұмыс органы және тағы басқа [6,7]. Сурет 1 де шөмішті элеватордың сұлбасы және шөміштерді таспаға бекіту нұсқалары көрсетілген.



**1-сурет. Шөмішті элеватор: а – сұлба;
б-в – шөміштерді таспаға бекіту нұсқалары**

Шөмішті элеватор (Сурет 1) 4 тігінен тұйықталған тартқыш элементі (таспа), 5 жүк көтергіш элементтері қатты бекітілген – шөміштері. Тартқыш элемент жоғарғы жетекті 1 және төменгі кернеуді 7 барабандарды айналып өтеді. Элеватордың жүріс бөлігі мен айналмалы құрылғылары жоғарғы бөлігінен (басынан) 2, ортаңғы бөлігінен және төменгі бөлігінен 9 (табандық), 10 тұратын жабық қаптамаға орналастырылады. Шөміштері бар тарту элементі 14 жетегімен қозғалады, ал бастапқы кернеу 8 кернеу құрылғысымен жасалады. Сусымалы жүк элеватордың төменгі бөлігінің тиеу шүмегіне (мұрынына) беріледі, шөмішке тиеледі, олармен көтеріледі және жоғарғы барабанға элеватордың жоғарғы бөлігінің шүмегіне түсіріледі. Жетек шассидің артқа жылжуына жол бермеу үшін тоқтатқышпен 12 немесе тежегішпен 13 жабдықталған. Элеватор корпусында бағыттаушы құрылғылар 11 болады [2].

Әдіснама

Салыстырмалы талдау әдісін қолдана отырып, шөмішті элеваторлардың қолданыстағы конструкцияларына, негізгі ақауларына салыстыру жүргізілді.

Ауыр жүктемелер кезінде үздіксіз жұмыс істеу таспалы шөмішті элеваторының (ТШЭ) жұмыс элементтерінің айтарлықтай тозуына (Сурет 2) және соның салдарынан өнімділіктің төмендеуіне әкеледі [8].

Жұмыс кезінде ТШЭ-ның келесі негізгі ақаулары анықталады:

- басқы бөлігі, табандық, тартқыш мойынтірек элементінің, ТШЭ түбінің, білік пен мойынтіректердің мойындарының, жетек және тежегіш механизмнің жартылай муфталарының түйреуіштерінің, резеңке төсемдердің және барабан белдіктерінің, ауытқу роликтерінің және тағы басқа бөліктерінің тозуы;
- барабан инелерінде жарықтардың пайда болуы;
- редукторларды, тісті доңғалақтарды орталықтандыру және тозуы; кернеу механизмінің реттеу бұрандаларын бүгілуі;
- шөмішті элеватор жолақтарын шамадан тыс тарту, жиектердің зақымдануы және олардың жалпы тозуы;
- шөміштердің мыжылуы, олардың буындарының алшақтығы (жыртылуы).

Дұрыс емес кернеу параметрі, тізбектің немесе таспаның тозуы, майлаудың болмауы да әсер етеді:

- бөгде заттардың түсуі, дұрыс пайдаланылмауы, майлаудың болмауы, тозуы, дұрыс орнатылмауы;
- материалдың тозуы, дұрыс орнатылмауы немесе шамадан тыс жүктеме;
- дұрыс жұмыс істемеу, механикалық зақымдану, материалдың тозуы;
- жүктеменің жоғарылауы, пайдалану шарттарының сәйкес келмеуі, өндіріс ақаулары;
- ылғалдың әсері, агрессивті орта, қорғаныстың болмауы, ұзақ мерзімді пайдалану, механикалық зақымдану, майлаудың болмауы.

Кесте 1 де шөмішті элеваторлардың өндірісте жиі кездесетін ақаулар мен белгілері көрсетілген.



2-сурет. Шөмішті элеватордың жоғарғы барабанының тозуы

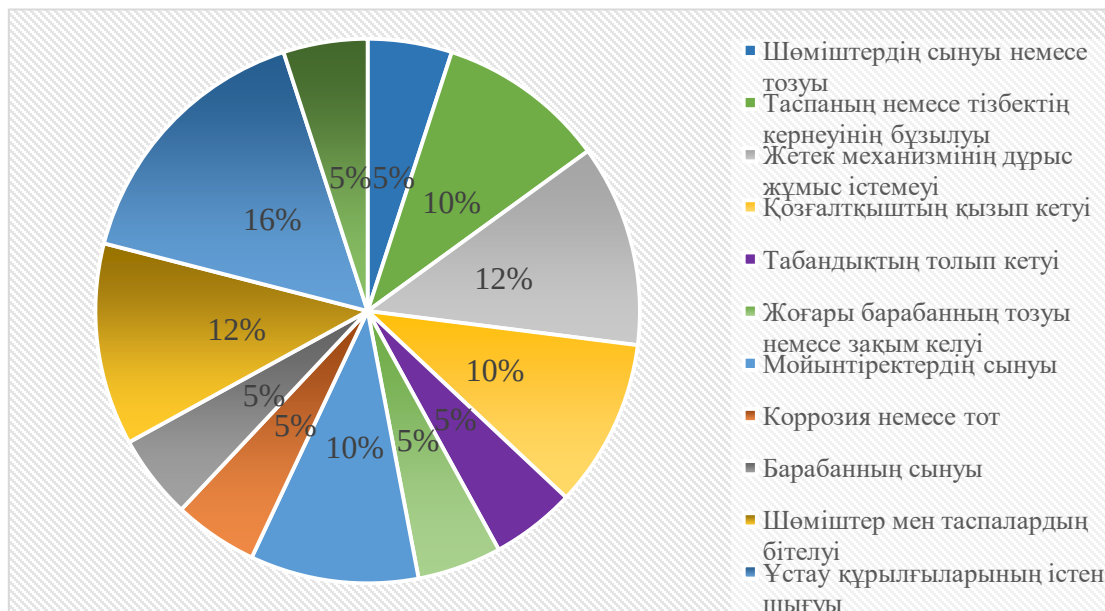
Шөмішті элеваторларының тозуына келесі факторлар әсер етеді [8]:

- механикалық зақымдану, материалдардың тозуы, дұрыс жұмыс істемеу;
- электр қозғалтқышының дұрыс жұмыс істемеуі, редукторлардың сынуы, мойынтіректердің тозуы;
- дұрыс емес орнату, шамадан тыс жүктеме, нашар салқындату.

1-кесте. Шөмішті элеваторларының негізгі ақаулары және белгілері

№	Ақаулары	Белгілері
1	Шөміштердің тозуы немесе сынуы	Тарту күшінің жоғалуы, шелектердің тозуы, жұмыс тиімділігінің төмендеуі.
2	Жетек механизмінің дұрыс жұмыс істемеуі	Шу, діріл, шөміштердің біркелкі емес қозғалысы.
3	Қозғалтқыштың қызып кетуі	Элеватордың жұмысын тоқтату, қозғалтқыш температурасының жоғарылауы.
4	Барабанның (дискілердің) сынуы	Тұрақсыз жұмыс, ауысу және күш берудегі ақаулар.
5	Табандықтың тозуы немесе зақымдануы	Элеватордың жұмысын тоқтату, таспаның немесе тізбектің қозғалысын бұзу, Шу мен діріл.
6	Табандықтың сынуы	Жұмысты тоқтату, көрінетін зақым, тізбектің немесе таспаның үзілуі.
7	Коррозия немесе тот	Табандық элементтерінде тоттың пайда болуы, беріктіктің төмендеуі.
8	Жоғарғы барабанның тозуы немесе зақымдануы	Шу, діріл, шелектердің тұрақсыз қозғалысы, өнімділіктің төмендеуі.

Сурет 3 шөмішті элеватор ақауларының пайыздық үлесі Кесте 1 негізінде құрастырылды.



3-сурет. Өндірістегі шөмішті элеватор ақауларының пайыздық үлесі (%)

Нәтижелер және талқылау

Шөмішті элеватор саласындағы зерттеулер мәселелері келесі шетелдік және отандық ғалымдардың: А.О. Спиваковский, В.И. Плавинский, И.И. Шмайс, Б.Т. Сазамбаева, В.А. Рычков, В.С. Турчин, Т.В. Бедыч, Piotr Sokolski тағы басқа еңбектерінде қарастырылды.

Жүргізіліп жатқан жұмыстарда пайдалану процесінде пайда болатын ТШЭ – нің негізгі ақаулары мен конструкциялары қарастырылмаған. Өндірістік қуат осы типтегі жоғары тиімді машиналарды пайдалануды талап ететіндіктен, бірақ құру белгілі бір шығындар мен осы машиналарды шығаратын кәсіпорындарды қажет ететіндіктен, бүгінгі күні осы кемшіліктерді түзететін қолданыстағы конструкцияларды пайдалану қажет.

И.И. Шмайс зерттеуінде [4] автор таспалы шөмішті элеваторлардың конструкциясының әртүрлі аспектілерін, соның ішінде олардың құрылысын, негізгі параметрлерін және өнімділігін есептеуді, сонымен қатар әртүрлі жұмыс жағдайларындағы жұмыс тиімділігін қарастырады. Келесі жұмыс [5] минералды тыңайтқыштарды тасымалдауға арналған шөмішті элеваторларды әзірлеуге және оңтайландыруға арналған. Жұмыста шөмішті элеваторларды жобалаудың теориялық және практикалық аспектілері, сондай-ақ минералды тыңайтқыштар-мен жұмыс істеу ерекшеліктерін ескере отырып, олардың параметрлерін есептеу әдістері қарастырылған. Бірақ жоғарыда көрсетілген екі жұмыста шөміштер арасындағы оңтайлы қашықтықты есептеу қарастырылмаған. Зерттеу жұмысында автор жаңа жұмыс элементі бар шөмішті элеватордың болашақтағы жобасын ұсынады, оның тиімділігін арттырудың басты критерийі шөміштің ұтымды пішіні арқылы түсіру жылдамдығын жоғарылату болып табылады [3].

Шөмішті элеватордың техникалық шешімдерінің болашағын бағалау үшін арнайы салыстыру критерийлері ұсынылған. Бұл критерийлердің сенімділігі толықтық, маңыздылық және өзара тәуелсіздік сипаттамаларына сәйкес дәлелденген. В.С. Турчин [9],

Т.В. Бедыч [10] еңбектерінде жұмыс меншікті энергия шығындарын азайту және тұқымның жарақаттануын азайту мақсатында астықты, оның ішінде тұқымдарды шөміш түріндегі элеваторлармен тасымалдау процесін жетілдіруге арналған, мұнда шөміштің материалын, құрылымын және пішінін анықтайтын факторлардың әсерін ескере отырып, шөміштің астықпен (тұқымдық материалмен) өзара әрекеттесу процесінің теориялық моделін әзірлеу қарастырылған. Сондай-ақ, энергия шығынын азайту және тұқымның зақымдануын азайту үшін полимерлі материалдардан жасалған шөміштерді пайдалану мүмкіндігі расталды. Жұмыста астықтың жарақаттануын азайту үшін шөмішті элеватор таспасының қозғалыс жылдамдығын өзгерту арқылы астықты тасымалдау процесі зерттеледі. Жұмыстың жаңашылдығы шөмішті элеватор табандығына тиеу кезінде шөмішпен астықты механикалық жарақаттау процесін сипаттайтын модель әзірленген; үздіксіз қозғалатын ағында астық сынамаларын алудың жеке әдістемесін және сынама алушының конструктивтік-технологиялық параметрлерін негізделген. Жоғарыда көрсетілген жұмыстардың кемшілігі сусымалы материалдың физикалық механикалық қасиеттерінің гранулометриялық құрамы ескерілмей, толық қарастырылмаған.

Мақалада ірі өнеркәсіптік шөмішті элеваторының [1] жетек құрылғысында жасалған діріл қарқындылығын сынау нәтижелері келтірілген. Уақыт пен жиілік аймақтарындағы нәтижелерді талдау жетектің, демек, элеватордың ұзақ мерзімді жұмыс істеуге жарамдылығын бағалауға негіз болды. Келесі жұмыста [7] EDEM бағдарламалық жасақтамасының көмегімен әр түрлі пішінді шөміштерді лақтыру модельденді. Нәтижесінде беріліс қорабының тиімділігін арттыруға көмектесетін кері ағынды азайтатын ең жақсы шөміш анықталды. Сонымен қатар, жұлдызша бөлігін жобалау кезінде шашыратқыштың орналасуына байланысты ең жақсы корпустың пішінін анықтауға болады. Шөмішті элеватор дизайнын жақсартуға және модельді оңтайландыру әсеріне қол жеткізілді. [11] Бұл зерттеу дискретті элементтерді модельдеуді (DEM), эксперименттерді жоспарлауды (DOE) және мета-эвристикалық оңтайландыру алгоритмдерін біріктіру арқылы шөмішті элеваторының дизайнын мен жұмысын жақсартудың жаңа әдісін ұсынады. Атап айтқанда, зерттеу метаэвристикалық оңтайландыру әдісі болып табылатын Firefly (FA) алгоритмін тасымалдау массасын және берілген жұмыс жағдайында түйіршікті материалдардың массалық шығынын барынша арттыру үшін шөмішті элеваторының параметрлерін оңтайландыру үшін пайдаланды. Эксперименттік әдістеме бірнеше негізгі қадамдарды қамтыған: шөмішті элеваторының жұмысына әсер ететін маңызды факторларды анықтауға арналған скринингтік эксперименттер, осы факторларды әрі қарай зерттеу үшін орталықтандырылған композиттік дизайн (CCD) эксперименттері және болжамды көлік массасы мен массалық ағын үлгілерін жасау үшін жауап бетінің әдістемесі (RSM). Содан кейін FA алгоритмі осы модельдерді оңтайландыру үшін қолданылып және нәтижелер модельдеу және эмпирикалық эксперименттер арқылы тексерілген. Зерттеу нәтижелерді DEM модельдеуімен салыстыру арқылы модельдеу және эмпирикалық эксперименттер арқылы оңтайландырылған параметрлерді тексерген. Нәтижелер шөміштің оңтайлы параметрлерін анықтауда FA алгоритмінің тиімділігін көрсетеді. Бірақ бұл жұмыстарда шөмішті элеватор параметрлерін оңтайландырудың жүйелі әдістемесі ұсынылмаған.

Қорытынды

Шөмішті элеваторлар - әртүрлі сусымалы және түйіршікті заттарды тасымалдауға арналған құрылғылар. Олар түрлі өндірістік жағдайларда жұмыс істеуге арналған және бұл әртүрлі салаларда материалдарды тасымалдау мен өңдеу мәселелерін тиімді шешуге, адамдардың жұмысын едәуір жеңілдетуге және өндіріс өнімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, өндірістік шөмішті элеваторлар жоғары қуаттылық пен өнімділікке ие, бұл үлкен көлемдегі материалдарды қысқа уақыт ішінде және аз күш жұмсап тиімді тасымалдауға жағдай жасайды.

Бұл жұмыстың басты мақсаты таспалы шөмішті элеваторлардың (ТШЭ) қазіргі конструкцияларын талдау, олардың негізгі ақаулары мен оларды жою тәсілдерін және кемшіліктерін зерттеу болды. Осы тақырыптағы мақалаға сәйкес шөмішті элеваторларының конструкциялары бойынша басқа зерттеу жұмыстары арқылы ақпараттық деректерді жинау, таспалы шөмішті элеваторларын пайдалану кезіндегі негізгі ақауларды анықтауға мүмкіндік берді. Оларды жүйелеу, ТШЭ конструкциялары бойынша морфологиялық жіктеуді әзірлеу, бұл ТШЭ бағытын дамыту перспективасын анықтауға және олардың параметрлерін оңтайландыруға ықпал ететін шөмішті элеваторларын есептеу әдістемесін жүйелеуге мүмкіндік береді.

Авторлардың қосқан үлесі:

Қ.Қ. Қуанышбекова – мәліметтер жинау, зерттеу жүргізу, жазу.

Б.Б. Тогизбаева – зерттеу нәтижелерін талдау және синтездеу, мақаланы түзету.

У.Ш. Кокаев - әдебиеттік шолу, деректерді талдау.

М.Т. Сарсенбаев – мәліметтер жинау, әдебиетпен жұмыс,

Әдебиеттер тізімі

1. Piotr Sokolski / Assessment of Suitability for Long-Term Operation of a Bucket Elevator: A Case Study// Energies 2023, 16(23), 7852; <https://doi.org/10.3390/en16237852>
2. Степыгин Виктор Иванович, Чертов Евгений Дмитриевич, Елфимов Сергей Анатольевич / Проектирование подъемно-транспортных установок / Учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2015. – 288 с.; ISBN 5-217-03274-X;
3. Сазамбаева Б.Т. Создание и разработка теоретических основ расчета рабочих органов ковшовых элеваторов / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, Алматы, 2016 г. С -37.;
4. Шмайс, Илья Иосифович/ Исследование и расчет ленточных ковшовых элеваторов : диссертация кандидата технических наук //- Алма-Ата, 2002. - 216 с.;
5. Рычков, Виктор Анатольевич, Обоснование конструкции ковшового элеватора для транспортировки минеральных удобрений и разработка методов расчета его параметров / автореферат дис. кандидата технических наук/ Всесоюз. науч.-исслед. и проект.-конструк. ин-т подъемно-транспорт. машин. - Москва, 2019. - 20 с.;

6. Изучение конструкции и работы ковшового элеватора. Методические указания/ А.Л. Носко, С.Г. Гнездилов, Е.В. Сафронов, Д.Б. Пармузин// - Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017, -25 с.
7. Key Structure Innovation and Optimization Design of Bucket Elevator, Fang Ma, Feng Xiong & Guiqin Li, Conference paper, Advanced Manufacturing and Automation VIII, pp 623–627;
8. Основные дефекты норий. Ремонт норий. <https://ksmash.ru/osnovnyye-defekty-noriy-remont-noriy?ysclid=m64ehflkxs939911905>
9. Турчин Вячеслав Семенович / Обоснование конструктивно-режимных параметров элеваторов ковшового типа для транспортировки сыпучих материалов // автореферат дис. кандидата технических наук, Оренбург, 2015 г. - 18 с.
10. Бедыч Татьяна Витальевна / Обоснование скорости движения ленты ковшового элеватора, направленное на снижение травмирования зерна // автореферат дис. кандидата технических наук, Оренбург, 2019 г. – 20 с.
11. Optimizing Bucket Elevator Performance through a Blend of Discrete Element Method, Response Surface Methodology, and Firefly Algorithm Approaches/ Arunyanart Pirapat, Kongkaew Nithitorn, Sudsawat Supattarachai // Computers, <https://www.techscience.com/cmc/v80n2/57652> Materials & Continua 2024, 80(2), 3379-3403.

**Қ.Қ. Қуанышбекова, Б.Б. Тогизбаева, У.Ш. Кокаев,
М.Т. Сарсенбаев**

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

Обзор существующих конструкций ленточных ковшовых элеваторов

Аннотация. В настоящее время ковшовые элеваторы нашли широкое применение в различных отраслях промышленности и применяются для вертикального транспортирования сыпучих грузов как цемент, земли, песок, торф, уголь, зерно, мука, химические материалы и другие мелкие, пылевидные и кусковые материалы, также вредные, опасные, сыпучие грузы. Одним из основных требований, предъявляемых к этим устройствам, является их высокая эксплуатационная надежность, эффективность транспортирования, защита окружающей среды от вредных материалов, пыли. Ковшовые элеваторы являются важным элементом транспортно-технологических систем, широко используемых в различных отраслях промышленности для перемещения сыпучих материалов. В работе рассмотрены труды ведущих ученых как ближнего так и дальнего зарубежья, исследования в этой области. Рассмотрены существующие конструкции ленточных ковшовых элеваторов, эксплуатируемых отечественными организациями, также представлены основные элементы ковшовых элеваторов, собранные из различных информационных источников (статьи, рефераты, и другие труды), проанализированы их

преимущества и недостатки при практическом применении. Выявлены основные неисправности ковшовых элеваторов, которые просистематизированы по выходам из строя узлов, а также пути их решения.

Ключевые слова: ковшовый элеватор, сыпучие материалы, тяговый орган, неисправность, ковш, лента.

**K.K. Kuanyshbekova, B.B. Togizbayeva, U.Sh. Kokayev,
M.T. Sarsenbayev**

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

An overview of existing designs for belt bucket elevators

Abstract. Currently, bucket elevators are widely used in various industries and are used for vertical transportation of bulk materials such as cement, earth, sand, peat, coal, grain, flour, chemical materials, other small, pulverized, lumpy materials, as well as harmful, dangerous, bulk materials. One of the main requirements for these devices is their high operational reliability, transportation efficiency, and environmental protection from harmful materials and dust. Bucket elevators are an important element of transportation and technological systems widely used in various industries for the movement of bulk materials. The paper examines the works of leading scientists from both near and far abroad, as well as research in this field. The existing designs of belt bucket elevators operated by domestic organizations are considered, the main elements of bucket elevators collected from various information sources (articles, abstracts, and other works) are also presented, their advantages and disadvantages in practical application are analyzed. The main malfunctions of bucket elevators have been identified, which are systematized by node failures, as well as ways to solve them.

Keywords: bucket elevator, bulk materials, traction body, bucket, belt, malfunction.

References

1. Piotr Sokolski / Assessment of Suitability for Long-Term Operation of a Bucket Elevator: A Case Study// *Energies* 2023, 16(23), 7852; <https://doi.org/10.3390/en16237852>
2. Stepygin Viktor Ivanovich, Chertov Evgenij Dmitrievich, Elfimov Sergej Anatol'evich / *Proektirovanie pod"emno-transportnyh ustanovok / Uchebnoe posobie.* – M.: Mashinostroenie, 2015. – 288 с.; ISBN 5-217-03274-X;
3. Sazambaeva B.T. Sozdanie i razrabotka teoreticheskikh osnov rascheta rabochih organov kovshovyh elevatorov / *Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk*, Almaty, 2016 g. S -37.;
4. Shmaj, Il'ya Iosifovich/ *Issledovanie i raschet lentochnyh kovshovyh elevatorov : dissertaciya kandidata tekhnicheskikh nauk* //- Alma-Ata, 2002. - 216 s.;
5. Rychkov Viktor Anatol'evich, *Obosnovanie konstrukcii kovshovogo elevатора dlya transportirovki mineral'nyh udobrenij i razrabotka metodov rascheta ego parametrov / avtoreferat dis. kandidata tekhnicheskikh nauk/ Vsesoyuz. nauch.-issled. i proekt.-konstruk. in-t pod"emno-transport. mashin.* - Moskva, 2019. - 20 s.;

6. Izuchenie konstrukcii i raboty kovshovogo elevatora. Metodicheskie ukazanie/ A.L. Nosko, S.G. Gnezdilov, E.V. Safronov, D.B. Parmuzin// - Moskva: Izdatel'stvo MGTU im. N.E. Bauman, 2017, -25 s.
7. Key Structure Innovation and Optimization Design of Bucket Elevator, Fang Ma, Feng Xiong & Guiqin Li, Conference paper, Advanced Manufacturing and Automation VIII, pp 623–627;
8. Osnovnye defekty norij. Remont norij. <https://ksmash.ru/osnovnyye-defekty-noriy-remont-noriy?ysclid=m64ehflkxs939911905>
9. Turchin Vyacheslav Semenovich / Obosnovanie konstruktivno-rezhimnyh parametrov elevatorov kovshovogo tipa dlya transportnykh s'puchih materialov // avtoreferat dis. kandidata tekhnicheskikh nauk, Orenburg, 2015 g. - 18 s.
10. Bedych Tat'yana Vital'evna / Obosnovanie skorosti dvizheniya lenty kovshovogo elevatora, napravlennoe na snizhenie travmirovaniya zerna // avtoreferat dis. kandidata tekhnicheskikh nauk, Orenburg, 2019 g. – 20 s.
11. Optimizing Bucket Elevator Performance through a Blend of Discrete Element Method, Response Surface Methodology, and Firefly Algorithm Approaches/ Arunyanart Pirapat, Kongkaew Nithitorn, Sudsawat Supattarachai // Computers, <https://www.techscience.com/cmc/v80n2/57652> Materials & Continua 2024, 80(2), 3379-3403

Авторлар туралы мәлімет:

Қ.Қ. Қуанышбекова - хат-хабар авторы, «Көлік инженериясы» кафедрасының докторанты, «Көлік - энергетика» факультеті, «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан;

Б.Б. Тогизбаева - техника ғылымдарының докторы, «Көлік инженериясы» кафедрасының профессоры, «Көлік - энергетика» факультеті, «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан;

Кокаев У.Ш. – техника ғылымдарының кандидаты, «Көлік инженериясы» кафедрасының доценті, «Көлік - энергетика» факультеті, «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан;

М.Т. Сәрсенбаев - «Көлік инженериясы» кафедрасының магистранты, «Көлік - энергетика» факультеті, «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан;

Қуанышбекова Қ.Қ. – докторант кафедрасы «Транспортная инженерия», «Транспортно - энергетический» факультет, НАО «Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева», Астана, Казахстан;

Тогизбаева Б.Б. – доктор технических наук, профессор кафедры «Транспортная инженерия», «Транспортно-энергетический» факультет, НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Астана, Казахстан;

Кокаев У.Ш. – к.т.н., доцент кафедры «Транспортная инженерия», «Транспортно - энергетический» факультет, НАО «Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева», Астана, Казахстан.

М.Т. Сарсенбаев - магистрант кафедры «Транспортная инженерия», «Транспортно - энергетический» факультет, НАО «Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева», Астана, Казахстан;

Kuanyshbekova K.K. – PhD Student of the Department of Transport Engineering, Faculty of «Transport - Energy», L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Togizbayeva B.B. – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Transport Engineering», «Transport and Energy» faculty, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan;

Kokayev U.Sh. – candidate of technical sciences, docent of the Department of «Transport Engineering», «Transport and Energy» faculty, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan;

M.T. Sarsembayev - master's student of the Department of Transport Engineering, Faculty of «Transport - Energy», L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 55.03.14

Научная статья

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-151-2-167-180>

Диспетчеризация рабочих органов машин садово-паркового и ландшафтного строительства и обеспечение их быстросменяемости

Д.М. Мамбетов * , В.Е. Джундибаев , У.Т. Касымов 

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

E-mail dulat7172@mail.ru

Аннотация. В статье исследуется диспетчеризация машин городских коммунальных служб, включая сменные рабочие органы, планирование работ с учётом сезонности, технологической последовательности, объёмов и удалённости объектов. Модульная конструкция машин и межмодульные крепления обеспечивают быструю и безопасную смену оборудования, адаптируя технику под конкретные задачи. Автоматизация оперативного управления, особенно при модульной организации машин, позволяет эффективно решать разнообразные задачи. Определены ключевые направления диспетчеризации, включая управление оборудованием и персоналом, а также рассмотрены современные системы оперативного управления для оптимизации производственных процессов. Предложены критерии выбора программного обеспечения для диспетчеризации, а также приведены конкретные данные по эффективности внедрения предложенных решений. Научная новизна исследования заключается в разработке адаптированных алгоритмов управления для предприятий коммунальных служб, учитывающих сезонность и разнообразие выполняемых задач.

Ключевые слова: машины садово-паркового строительства, быстросменное оборудование, диспетчеризация, автоматизация, SCADA, MES

Поступила 18.02.2025. Доработана 25.05.2025. Одобрена 01.06.2025. Доступна онлайн 30.06.2025

* автор по корреспонденции

Введение

Садово-парковое строительство представляет собой совокупность мероприятий, направленных на решение правовых, инженерных, агротехнических, эстетических, организационных, эксплуатационно-хозяйственных и экономических задач с целью создания объектов озеленения различного назначения.

Для механизации работ в сфере садово-паркового и ландшафтного строительства применяют как специализированные технические средства, разработанные для данных операций, так и оборудование, позаимствованное из других отраслей экономики (например, сельского и лесного хозяйств, гражданского и транспортно-складского секторов).

Одной из современных тенденций в области технологических машин, оснащённых широким спектром сменного оборудования, является использование модульного принципа конструкции [1]. Такой подход обеспечивает возможность перестройки структуры машины в соответствии с актуальными технологическими требованиями. Процесс перекомпоновки подразумевает замену модуля с рабочим оборудованием в зависимости от характера, последовательности и объёмов выполняемых работ. Механизация или автоматизация процесса обеспечения оперативной смены рабочего оборудования реализуется посредством специального модуля – устройства базирования и крепления, позволяющего быстро и безопасно менять инструменты или оборудование по мере необходимости.

Преимущества систем быстросменного крепления включают:

Эффективность: Возможность оперативной замены инструментов позволяет погрузчику максимально использовать свои функциональные возможности при выполнении различных задач.

Экономию времени: Отсутствие длительных и сложных процедур установки сокращает время простоя оператора.

Универсальность: Одна машина способна выполнять разнообразные операции с использованием различных приспособлений.

Удобство и безопасность: Снижение риска травматизма для оператора и окружающих при смене рабочих элементов.

Гибкость: Быстрая адаптация к изменениям в поставленных задачах и оперативное реагирование на изменяющиеся потребности производства.

Существует несколько технологий быстросменного крепления, включая механические системы с быстрыми замками, гидравлические системы с автоматическим зажимом, а также системы быстрого обмена через гидролинии. Каждая из этих технологий обладает своими преимуществами и ограничениями, а выбор конкретного решения определяется требованиями выполняемых работ и характеристиками используемой технологической машины [2].

В то же время обеспечение оперативной смены рабочего оборудования для конкретных видов работ требует высокого уровня диспетчеризации производственного процесса, включающего планирование, координацию и контроль производственных операций и ресурсов. Оптимизация этих процессов способствует повышению эффективности, увеличению производительности и улучшению общего управления на предприятии. Диспетчеризация, широко применяемая в таких сферах, как

информационные технологии, транспорт и производство, обеспечивает эффективное распределение ресурсов и задач для достижения наилучших результатов, что в конечном итоге повышает конкурентоспособность компании.

Основная цель настоящего исследования заключается в изучении вопросов диспетчеризации и автоматизации производственных технологических операций, базирующихся на неизменности типов работ и использовании сменного рабочего оборудования. При этом особое внимание уделяется применению быстросменного устройства базирования и крепления в условиях ландшафтного и садово-паркового строительства.

Одной из современных тенденций является использование модульных конструкций машин, что позволяет быстро адаптировать технику под различные задачи. Например, система быстросменного крепления на базе гидравлических замков сокращает время замены оборудования с 30 до 10 минут.

Основные преимущества модульных систем:

- Эффективность: сокращение времени простоя.
- Универсальность: одна машина выполняет múltiples задачи.
- Безопасность: снижение риска травм при замене оборудования

Методология

На первом этапе выбираются SCADA-системы или платформы управления, обеспечивающие мониторинг, контроль и оптимизацию процессов. Ключевые требования включают:

1. Интеграцию с оборудованием (контроллерами, датчиками) для сбора данных и удалённого управления
2. Визуализацию процессов через графические интерфейсы
3. Функционал для:
 - оперативного управления в реальном времени
 - автоматического планирования и распределения ресурсов
 - прогнозирования и аналитики
4. Совместимость с ERP/CMMS-системами
5. Обучение персонала

Преимущества:

- Повышение оперативности и производительности
- Снижение ошибок
- Точное управление процессами

Недостатки:

- Высокие затраты на внедрение
- Сложность интеграции
- Зависимость от инфраструктуры
- Необходимость квалифицированных специалистов

Диспетчеризация занимает центральное место в оперативном управлении промышленным предприятием, согласуясь с трехуровневой структурой управления (стратегический, оперативный, технологический уровни) [4]. (рис. 1)

Актуальность исследуемой проблематики обусловлена тем, что в условиях современного города, особенно в сфере садово-паркового и ландшафтного строительства, а также в процессе содержания зеленых зон, вопрос быстросменности рабочего оборудования для различных видов работ остаётся особенно важным. Это связано с широким разнообразием задач в течение года и ограниченным числом специализированных машин на предприятиях коммунальной службы.

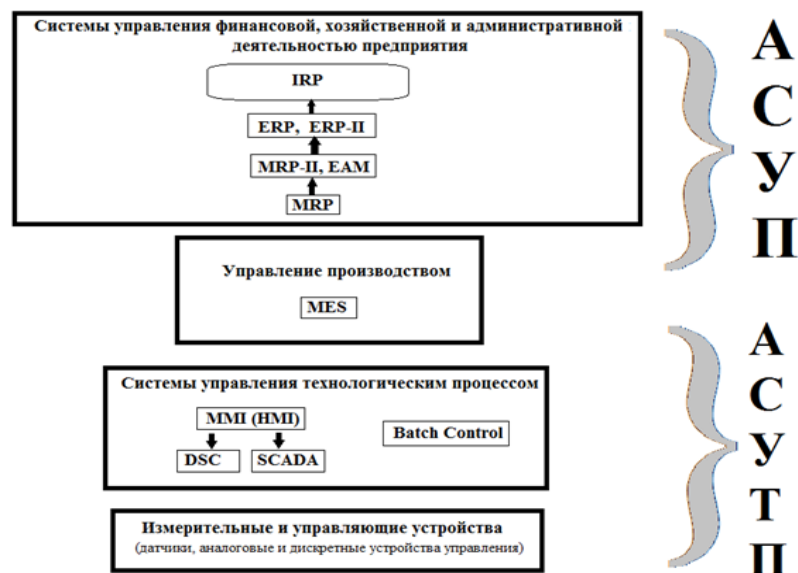


Рисунок 1. Слоевая схема автоматизированных систем управления промышленного предприятия

Примечание: составлено по литературному источнику [4].

Использование разнообразного навесного технологического оборудования для выполнения различных операций является общепринятой практикой, однако обеспечение быстрой сменяемости рабочего оборудования на колёсной базе продолжает оставаться актуальным. Эффективное решение данной проблемы достигается разработкой и внедрением производственных технологических машин со сменной компоновкой [5]. В рамках этой концепции коллектив авторов ЕНУ предложил оригинальное технологическое решение [6].

В исследовании [7], посвящённом принципам формирования автоматизированного банка данных для промышленного транспорта на примере ленточного конвейера, указывают, что автоматизация производственных процессов базируется на интеграции набора прикладных программ, являющихся ключевым элементом реализации данной задачи. Авторы подчёркивают, что эффективное внедрение автоматизации банка данных требует четкого разграничения задач, выполнение которых способствует точности принятия управленческих решений.

Кроме того, сообщается, что ТОО «АстанаЗеленСтрой» осуществляет работы, охватывающие всю территорию города Астана, при этом виды выполняемых операций остаются неизменными и проводятся на ограниченных участках, таких как парки, скверы, террасы, клумбы и бульвары. Исследователи отмечают, что техника, применяемая в данных условиях и основанная преимущественно на машинах общего назначения, демонстрирует низкую эффективность, что приводит к увеличению объёма ручного труда.

В исследовании [8] авторы приходят к выводу, что в условиях стремительных изменений рыночной парадигмы и необходимости оптимального планирования использования рабочей силы разработка и внедрение реконфигурируемых производственных систем является наилучшим решением. Технологии, позволяющие обеспечить оперативную сменяемость рабочих агрегатов технологических машин, обладают значительным потенциалом, поскольку способствуют экономии времени и снижению затрат на труд.

Работа [9] демонстрирует, что перекомпоновываемые рабочие позиции обладают свойствами самоконтроля и саморегуляции, что соответствует концепции цифрового и интеллектуального производства.

Согласно работе, процесс перекомпоновывания рабочей позиции сопровождается одновременным изменением её структурных, компоновочных и технико-эксплуатационных характеристик.

В исследовании подчёркивается, что продолжительность перекомпоновывания яруса варьируется в зависимости от причин, лежащих в основе данного процесса. Авторы выделяют две основные причины: отказ автоматически сменного узла (АС узла) и изменение номенклатуры обрабатываемого изделия.

В контексте ТОО «АстанаЗеленСтрой» диспетчеризация рассматривается как управление в пределах установленных значений всех параметров, характеризующих технологический процесс, включая режимы эксплуатации, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортировки.

Роль диспетчера в данной системе сводится к оперативному и эффективному управлению технологическими операциями с учётом типа рабочего оборудования и характера выполняемых работ, а также к планированию задач с учетом сроков выполнения и наличия сменного оборудования. Для реализации этих функций могут применяться как квалифицированные специалисты, так и специализированный комплекс вычислительных программ на уровне управления производством (MES), соответствующий многоуровневой схеме автоматизированных систем промышленного предприятия (см. рис. 2).

Ниже представлен переписанный вариант перечня основных задач, рассматриваемых при решении вопросов диспетчеризации и её автоматизации:

- Формирование годового плана производственных работ и разработка графика их реализации.
- Оперативное календарное планирование выполнения работ.
- Централизованное управление всем технологическим процессом исполнения работ.
- Мониторинг и оценка текущего уровня готовности технологических машин, сменного оборудования и рабочих зон для выполнения запланированных задач.

- Сбор, хранение и анализ актуальной и исторической информации о выполненных и находящихся в процессе работ.

На уровне рабочего места: определение видов работ, их последовательности, объёмов и возможных технологических решений, учет сезонных особенностей, расстояния от базы хранения оборудования, а также потребности в необходимых материалах (например, химикатах и удобрениях).

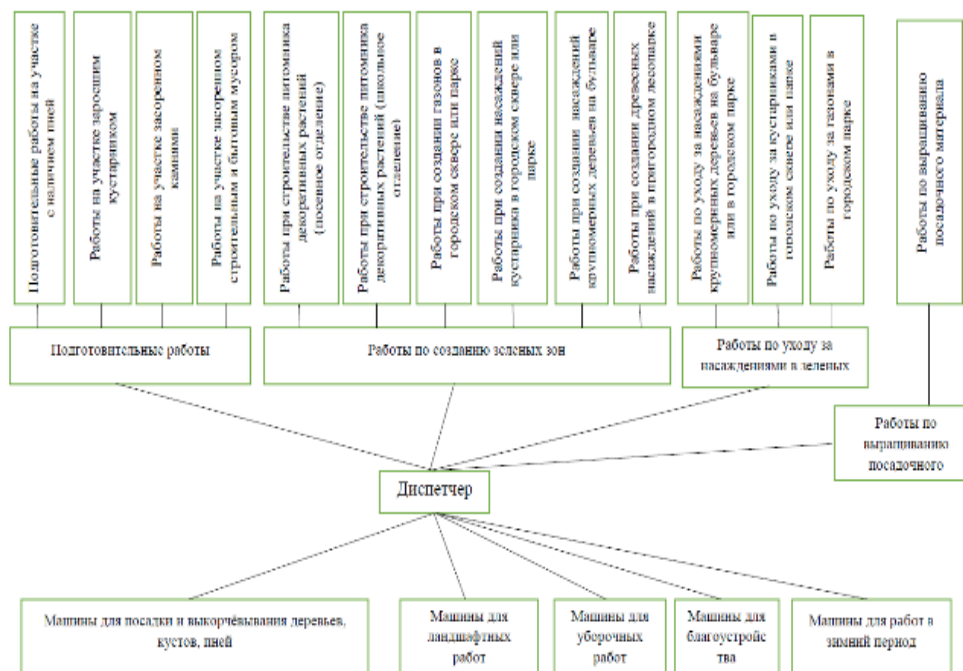


Рисунок 2. Схема роли и места вопроса диспетчеризации при выполнении работ по садово-парковому и ландшафтному строительству

Примечание: составлено авторами.

По рабочему оборудованию: контроль наличия и организация доставки колёсной базы, сменного и вспомогательного оборудования, а также сбор информации, касающейся надежности его работы.

По обслуживающему персоналу: планирование логистики доставки сотрудников до рабочих зон, распределение задач по видам работ, учет квалификации, опыта и графика выхода на работу.

- Определение плановых технико-экономических показателей для выполнения запланированных работ.

- Обеспечение актуальности и наличия необходимой технической документации.

Данный перечень задач позволяет систематизировать ключевые аспекты диспетчеризации и автоматизации производственных процессов, способствуя более эффективному управлению и оптимизации работы предприятия.

Результаты и Обсуждение

Современные системы оперативного управления (Industrial Control Systems, ICS) играют ключевую роль в автоматизации промышленных процессов. Проведенный анализ ведущих платформ позволяет выделить несколько важных аспектов их применения:

1. Ключевые игроки рынка:
 - Siemens SIMATIC PCS 7 демонстрирует исключительную надежность и масштабируемость, что делает его предпочтительным выбором для крупных промышленных предприятий
 - Rockwell Automation FactoryTalk предлагает комплексные решения, но ограничен совместимостью с оборудованием других производителей
 - ABB 800xA выделяется универсальностью в управлении различными производственными системами
2. Критические факторы выбора:
 - Для коммунальных служб особое значение имеет баланс между функциональностью и стоимостью внедрения
 - В условиях ограниченного бюджета Wonderware System Platform может предложить оптимальное сочетание гибкости и визуализации
 - GE Digital iFIX остается востребованным решением благодаря своей проверенной надежности, несмотря на устаревший интерфейс

Таблица 1
Сравнение систем управления по критериям

Система	Интеграция	Функциональность	Масштабируемость	Стоимость	Интерфейс
Siemens SIMATIC PCS 7	Высокая	Широкая	Высокая	Высокая	Сложный
Rockwell FactoryTalk	Средняя	Средняя	Средняя	Средняя	Удобный
ABB 800xA	Высокая	Широкая	Высокая	Высокая	Сложный
GE Digital iFIX	Средняя	Узкая	Низкая	Низкая	Устаревший

**Для визуализации выбора рекомендуется схема (Рисунок 1), отражающая приоритеты по критериям.*

Для выбора программного обеспечения (ПО) диспетчеризации использовались следующие критерии:

1. *Интеграция с оборудованием* — возможность подключения к датчикам, контроллерам и другим устройствам.
2. *Функциональность* — поддержка мониторинга, планирования и оптимизации процессов.
3. *Масштабируемость* — адаптация под различные масштабы предприятий.
4. *Стоимость* — затраты на внедрение и обслуживание.
5. *Удобство интерфейса* — простота использования для операторов.

Таблица 2

Достоинства и недостатки промышленных систем управления

Система	Достоинства	Недостатки
Siemens SIMATIC PCS 7	✓ Высокая масштабируемость ✓ Надежность ✓ Поддержка множества протоколов ✓ Расширенная диагностика	✗ Высокая стоимость ✗ Сложная интеграция со сторонними системами
Rockwell FactoryTalk	✓ Комплексные решения для мониторинга ✓ Оптимизирована для оборудования Rockwell	✗ Зависимость от экосистемы Rockwell ✗ Ограниченная совместимость
ABB 800xA	✓ Универсальность (производство + энергетика) ✓ Гибкость ✓ Поддержка разных протоколов	✗ Сложная настройка ✗ Долгая адаптация персонала
Wonderware System	✓ Гибкая настройка ✓ Хорошая визуализация ✓ Подходит для разных отраслей	✗ Сложность освоения ✗ Ограничения для высокоскоростных процессов
GE Digital iFIX	✓ Проверенная надежность ✓ Гибкость ✓ Удобные инструменты для операторов	✗ Устаревший интерфейс

Следует отметить, что при выборе системы программного обеспечения для диспетчеризации ключевым моментом является масштаб предприятия, бюджет и технические требования.

Для решения задач диспетчеризации и автоматизации на уровне предприятий коммунальных служб городов могут применяться как программные решения уровня MES, так и специально адаптированные алгоритмы. В частности, для ТОО «АстанаЗеленСтрой» разработан алгоритм (блок-схема) процесса диспетчеризации работ с использованием сменных рабочих органов (СРО) в садово-парковом и ландшафтном строительстве (рис. 3).

Основные этапы процесса:

1. Начало - отправная точка системы управления
2. Планирование:
 - Определение очередности работ согласно годовому плану (сетевому графику)
 - Корректировка плана при необходимости
 - Определение видов, объемов работ и их локаций
3. Логистика ресурсов:
 - Контроль наличия СРО на базе и по локациям
 - Распределение СРО по работам
 - Организация доставки СРО и персонала к местам работ
4. Мониторинг:
 - Контроль выполнения работ
 - Ведение банка данных с текущей и исторической информацией

Управляемые параметры:

- Годовой рабочий план (сетевой график)
- Виды работ по времени, объему и локациям
- Наличие и готовность СРО и колесной базы
- Наличие персонала
- Техническая документация (ГОСТ, СТ РК, НТД, СанПин)

Схема отражает комплексный подход к управлению производственными процессами с акцентом на оперативное распределение ресурсов и контроль выполнения работ.

Рисунок 3 «Динамика производительности после внедрения» показывает рост производительности на 25% за 6 месяцев.



Рисунок 3. Динамика производительности после внедрения модульных машин

Внедрение модульных машин с быстросменным оборудованием на предприятии ТОО «АстанаЗеленСтрой» позволило:

- Сократить время замены рабочих органов на 40%.
- Увеличить производительность на 25%.
- Снизить затраты на обслуживание на 15%.

Научная новизна исследования заключается в разработке алгоритма диспетчеризации (Рисунок 3,4), учитывающего сезонность работ, удалённость объектов, наличие ресурсов.

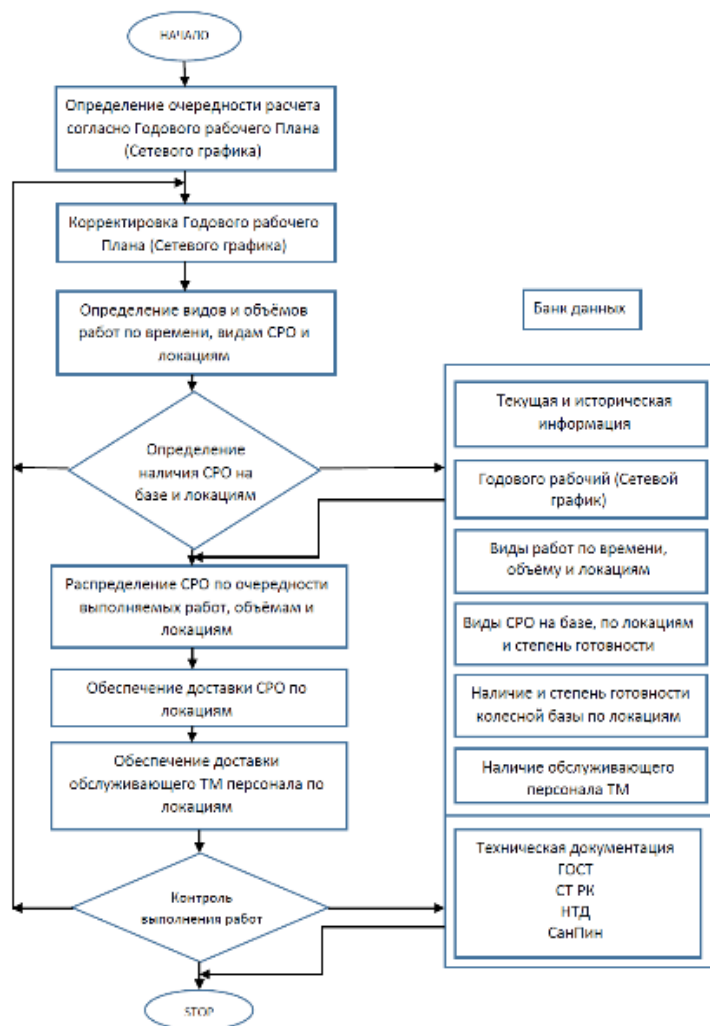


Рисунок 4. Алгоритм решения вопросов диспетчеризации на уровне оперативного управления

Примечание: составлено авторами

Внедрение модульных машин с быстросменным оборудованием на предприятии ТОО «АстанаЗеленСтрой» показало следующие результаты:

1. Сокращение времени замены рабочих органов на 40% (с 30 до 18 минут).
2. Увеличение производительности на 25% за счёт сокращения простоев.
3. Снижение затрат на обслуживание на 15% благодаря унификации модулей.

Научная новизна исследования подтверждена патентами (Патент РК № 8168) и внедрением алгоритма диспетчеризации, учитывающего сезонность и удалённость объектов.

Заключение

Проведённое исследование позволило систематизировать ключевые аспекты диспетчеризации рабочих органов машин садово-паркового и ландшафтного строительства, что имеет существенное значение для повышения эффективности производственных процессов в условиях городской инфраструктуры. Основные выводы работы могут быть сформулированы следующим образом:

1. Модульный принцип конструкции машин в сочетании с системами быстросменного крепления продемонстрировал свою эффективность, обеспечив:
 - сокращение времени замены рабочих органов на 40%
 - увеличение производительности на 25%
 - снижение эксплуатационных затрат на 15%
2. Разработанный алгоритм диспетчеризации, учитывающий сезонность работ, пространственное распределение объектов и доступность ресурсов, представляет собой научно-практическую ценность для предприятий коммунального хозяйства.
3. Сравнительный анализ систем оперативного управления (ICS) выявил, что для различных категорий предприятий целесообразно применение:
 - комплексных решений (Siemens SIMATIC PCS 7, ABB 800xA) - для крупных организаций
 - адаптированных MES-платформ - для средних и малых предприятий
4. Внедрение предложенных решений в ТОО «АстанаЗеленСтрой» подтвердило их практическую значимость, продемонстрировав улучшение ключевых показателей эффективности.

Полученные результаты вносят вклад в развитие методологии управления техническими средствами в сфере городского озеленения и могут быть применены для совершенствования производственных процессов в аналогичных отраслях.

Вклад авторов

Мамбетов Д.М.- Концепция работы, сбор, анализ результатов работы, подготовка и написание текста

Джундибаев В.Е. -Критический пересмотр содержания, утверждение окончательного варианта статьи

Касымовым У.Т.- Ответственность за все аспекты работы, надлежащее изучение и решение вопросов, связанных с достоверностью данных в статье

Список литературы

1. Джундибаев В.Е., Касымов У.Т., Мамбетов Д.М., Ахметов К.Т., Мурзабеков Д.Н. Отчет о научно-исследовательской работе «Обеспечение быстрой сменяемости рабочих

- органов технологических машин городских служб, строительно-дорожной и сельскохозяйственной отраслей» (Заключительный). МРНТИ 55.03.14; 55.53.03; 55.55.29; 55.55.31; 55.57.35; 55.57.40. № гос.регистрации 0122РКИ0196, инв.№ 022РКИ0268.
2. Джундибаев В.Е., Мамбетов Д.М., Мурзабеков Д.Н. Классификация видов работ и машин при садово-парковом и ландшафтном строительстве // *Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения: Сборник материалов X Международной научно-практической конференции.* – Астана: ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2022. – С. 205–208. – ISBN 978-601-337-661-5.
 3. Мусаев А.А., Шерстюк Ю.М. Автоматизация диспетчеризации производственных процессов промышленных предприятий. – URL: <https://szma.com/wp-content/uploads/2016/10/art21.pdf> (дата обращения: 10.02.2025).
 4. Диспетчеризация производства // Adeptik. – URL: <https://adeptik.com/blog/dispatcherizaciya-proizvodstva/> (дата обращения: 10.02.2025).
 5. Morgan, J., Halton, M., Qiao, Y., Breslin, J.G. (2021). Industry 4.0 smart reconfigurable manufacturing machines. *Journal of Manufacturing Systems*, 59, 481–506. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.03.001>.
 6. Джундибаев В.Е., Мамбетов Д.М. Способ и устройство обеспечения быстросменности рабочего органа: Патент на полезную модель РК № 8168 от 23.02.2023 г.
 7. Dzhundibaev, V.E., Sazambaeva, B.T., Togizbaeva, B.B., Makhanov, M.M., Kassymbekov, Zh., Kinzhebayeva, A.S. (2020). In Reference to the Research of Pipe Belt Conveyor. *Bulletin of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, 6(388), 19–27.
 8. Vahedi-Nouri, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., Hanzalek, Z., Dolgui, A. (2022). Workforce planning and production scheduling in a reconfigurable manufacturing system facing the COVID-19 pandemic. *Journal of Manufacturing Systems*, 63, 563–574.
 9. Горшков Б.М., Бобровский Н.М., Самохина Н.С., Савельев А.В. Рабочая позиция с жесткой межагрегатной связью // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение».* – 2020. – Т. 18, № 2. – С. 45–48. – DOI: [10.14529/engin180205](https://doi.org/10.14529/engin180205).

Д.М. Мамбетов *, В.Е. Джундибаев, У.Т. Касымов

Л. Н. Гумилев ат. Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Көгалдандыру және ландшафтық құрылыс машиналарының жұмыс бөліктерін жөнелту және оларды тез ауыстыруды қамтамасыз ету

Аңдатпа. Мақалада ауысымдық жұмыс жабдықтарын қоса алғанда, қалалық коммуналдық қызметтердің машиналарын диспетчерлеу, объектілердің маусымдылығын, технологиялық реттілігін, көлемі мен қашықтығын ескере отырып жұмыстарды жоспарлау зерттеледі. Машиналардың модульдік дизайны және модульаралық бекітпелер жабдықты нақты тапсырмаларға бейімдей отырып, жабдықтың тез және қауіпсіз өзгеруін қамтамасыз етеді. Жедел басқаруды автоматтандыру, әсіресе машиналарды модульдік ұйымдастыруда, әртүрлі мәселелерді тиімді шешуге мүмкіндік береді. Жабдықтар мен персоналды басқаруды қоса алғанда, диспетчерлеудің негізгі бағыттары анықталды,

сондай-ақ өндірістік процестерді оңтайландыру үшін жедел басқарудың заманауи жүйелері қарастырылды. Диспетчерлеуге арналған бағдарламалық жасақтаманы таңдау критерийлері ұсынылған, сонымен қатар ұсынылған шешімдерді енгізу тиімділігі туралы нақты мәліметтер келтірілген. Зерттеудің ғылыми жаңалығы-орындалатын міндеттердің маусымдылығы мен әртүрлілігін ескеретін коммуналдық қызметтер кәсіпорындары үшін бейімделген басқару алгоритмдерін әзірлеу..

Түйін сөздер: бау-бақша құрылыс машиналары, жылдам ауыстырылатын жабдықтар, диспетчерлеу, автоматтандыру, SCADA, MES.

D.M. Mambetov *, V.E. Dzhundibaev, U.T. Kasymov

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

Dispatching the working parts of gardening and landscape construction machines and ensuring their rapid replacement

Abstract. The article examines the dispatching of machines of urban utilities, including shift workers, planning work taking into account seasonality, technological sequence, volume and remoteness of facilities. The modular design of the machines and intermodular fasteners ensure a quick and safe change of equipment, adapting the equipment to specific tasks. Automation of operational management, especially with the modular organization of machines, makes it possible to effectively solve a variety of tasks. The key areas of dispatching, including equipment and personnel management, are identified, as well as modern operational management systems for optimizing production processes. Criteria for the selection of software for dispatching are proposed, as well as specific data on the effectiveness of the implementation of the proposed solutions. The scientific novelty of the research lies in the development of adapted management algorithms for utilities that take into account the seasonality and variety of tasks performed.

Keywords: gardening machines, quick-change equipment, dispatching, automation, SCADA, MES.

References

1. Dzhundibaev V.E., Kasymov U.T., Mambetov D.M., Akhmetov K.T., Murzabekov D.N. Report on the research work "Ensuring rapid turnover of working bodies of technological machines of urban services, road construction and agricultural industries" (Final). MRNTI 55.03.14; 55.53.03; 55.55.29; 55.55.31; 55.57.35; 55.57.40. № State registration number 0122RKI0196, inv. No. 022RKI0268.
2. In Jundibaev.E., Mambetov D.M., D. Murzabekov.N. Classification of types of work of machines in gardening and landscape construction // Actual problems of transport and energy: ways of their innovative solution: Collection of materials of the x scientific and practical International Conference. Astana: L.N. Gumilyov ENU, 2022. pp. 205-208. ISBN 978-601-337-661-5.
3. Musaev A.A., Sherstyuk Yu.M. Automation of dispatching production processes of industrial enterprises. – URL: <https://szma.com/wp-content/uploads/2016/10/art21.pdf> (date of request: 02/10/2025).

4. Classification of production // Adeptik. – URL: <https://adeptik.com/blog/dispatcherizaciya-proizvodstva/> (accessed: 02/10/2025).
5. Morgan J., Hulton M., Qiao Y., Breslin J.G. (2021). Intelligent Reconfigurable Production Machines for Industry 4.0. Journal of Production Systems, 59, 481-506. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.03.001>
6. Dzhundibaev V.E., Mambetov D.M. Method and device for ensuring quick-change of the working body: Utility model Patent of the Republic of Kazakhstan No. 8168 dated 02/23/2023.
7. Dzhundibaev V.E., Sazambayeva B.T., Togizbayeva B.B., Makhanov M.M., Kasymbekov Zh., Kinzhebayeva A.S. (2020). In connection with the research of the tubular conveyor belt. Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 6(388), 19-27.
8. Vahedi-Nuri B., Tavakkoli-Moghaddam R., Khanzalek Z., Dolgikh A. (2022). Workforce and production planning in a reconfigurable production system in the context of the COVID-19 pandemic. Journal of Production Systems, 63, 563-574.
9. Gorshkov B.M., Bobrovsky N.M., Samokhina N.S., Savelyev A.V. A working position with a tight interagency connection // Bulletin of SUSU. The series "Mechanical Engineering". – 2020. – Vol. 18, No. 2. – pp. 45-48. – DOI: 10.14529/engin180205.

Information about the authors:

Mambetov D.M. - doctoral student of the Department of Transport, transport equipment and technology of the Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Astana, 010008, Satpayeva 2

Djundibaev V.E. - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Space Engineering and Technologies of the Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Astana, 010008, Satpayeva 2

Kasymov U.T. - Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Space Engineering and Technologies of the Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Astana, 010008, Satpayeva 2

Мамбетов Д.М.- докторант кафедры Транспорт, транспортная техника и технологии Евразийского национального университета им.Л.Н.Гумилева, г.Астана, 010008, Сатпаева 2

Джундибаев В.Е.- доктор техн.наук, профессор кафедры Космическая техника и технологий Евразийского национального университета им.Л.Н.Гумилева, г.Астана, 010008, Сатпаева 2

Касымов У.Т.- канд.техн.наук, профессор кафедры Космическая техника и технологий Евразийского национального университета им.Л.Н.Гумилева, г.Астана, 010008, Сатпаева 2

Мамбетов Д.М. – Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің көлік, көлік техникасы және технологиясы кафедрасының докторанты, Астана қ., 010008, Сәтбаева 2

Джундибаев В.Е. – т.ғ.д., Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Ғарыштық техника және технологиялар» кафедрасының профессоры, Астана, 010008, Сәтбаева 2

Қасымов У.Т. – т.ғ.к., Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Ғарыштық техника және технологиялар» кафедрасының профессоры, Астана қ., 010008, Сәтбаева 2



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



ХҒТАР 55.03.14

Шолу мақала

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-151-2-181-194>

Сериялық, параллель және гибриді манипуляторларға шолу: функционалдық мүмкіндіктері мен шектеулері

А.Қ. Мустафа*^{1,2} , Е.З. Нұғман¹ , Н.С. Камзанов¹ , Ж.С. Тургунов^{1,2} 

¹Сәтбаев университеті, Алматы қаласы, Қазақстан

²ТОО «RnD Center», Республика Казахстан, г. Алматы

E mail: mustafa_azamat@mail.ru

Аңдатпа. Бұл мақалада манипуляторлардың конструктивтік ерекшеліктерін, еркіндік дәрежелерін және кинематикалық сипаттамаларын зерттеу қарастырылады. Манипуляторлар өндіріс, медицина, машина жасау және робототехника салаларында кеңінен қолданылатын маңызды құрылғылар болып табылады. Қазіргі өндірістік процестерде автоматтандыру тиімділікті арттырудың, адам еңбегін жеңілдетудің және шығындарды азайтудың басты факторы болып табылады. Алайда, технологиялардың қарқынды дамуына қарамастан, қолайлы манипуляторды таңдау күрделі міндет болып табылады. Манипуляторды таңдау көптеген факторларға, соның ішінде конструкцияның қаттылығына, еркіндік дәрежелерінің санына, жүк көтергіштігіне және жұмыс аймағына тәуелді. Зерттеудің негізгі мақсаты – сериялық, параллель және гибриді манипуляторлардың құрылымдық айырмашылықтарын салыстыру, олардың функционалдық мүмкіндіктері мен шектеулерін талдау, сондай-ақ таңдау критерийлерін жүйелеу. Жұмыс барысында жүйелі шолу әдісі қолданылып, ғылыми әдебиеттер, рецензияланған мақалалар және өндірушілердің техникалық құжаттары негізінде деректер жинақталады. Грюблер формуласы арқылы манипуляторлардың еркіндік дәрежелері есептеліп, олардың қозғалыс мүмкіндіктері мен кинематикалық параметрлері бағаланды. Бұл зерттеу манипуляторлардың кинематикалық сипаттамаларын жетілдіруге, олардың нақты өндірістік жағдайларға бейімделуін жақсартуға және таңдау әдістерін жүйелеуге үлес қосады. Жұмыстың практикалық маңызы – өндірісте, медицинада және робототехникада

Түйін сөздер: манипулятор, сериялық манипулятор, параллель манипулятор, гибриді манипулятор, жұмыс аймағы, кинематикалық схема.

Түсті 13.03.2025. Жөнделді 18.03.2025. Мақұлданды 14.05.2025. Онлайн қолжетімді 30.06.2025

* автор по корреспонденции

Кіріспе

Манипулятор — бұл объектілерді жылжыту, ұстау және басқару үшін арналған механикалық құрылғы. Олар өнеркәсіпте, машина жасауда, медицинада, робототехникада және басқа да салаларда кеңінен қолданылады, олар жоғары дәлдік пен өнімділікті қажет ететін тапсырмаларды орындайды [1,2]. Қазіргі өндірістік процестер жағдайында автоматтандыру тиімділікті арттыруға, адам факторының әсерін азайтуға және шығындарды оңтайландыруға мүмкіндік беретін негізгі рөл атқарады [2,3].

Алайда, технологиялардың қарқынды дамуына қарамастан, қолайлы манипуляторды таңдау күрделі міндет болып қала береді. Бұл әрқайсысының өзіндік ерекшеліктері мен шектеулері бар әртүрлі конструкциялардың кең ауқымымен байланысты. Манипуляторды таңдау көптеген факторларға, соның ішінде конструкцияның қаттылығына, еркіндік дәрежелерінің санына, жүк көтергіштігіне және жұмыс аймағына тәуелді. Бүгінгі таңда манипуляторлардың негізгі түрлері сериялық, параллель және гибриді болып табылады [4,5]. Сериялық манипуляторлар: бұл манипуляторлардың ең көп таралған түрі. Бұл манипуляторлар жоғары маневрлік және икемділікке ие, оларды көбінесе жинау, дәнекерлеу, бояу және басқа өндірістік жұмыстар үшін пайдаланады. Параллель манипуляторлар: бұл құрылымда бірнеше буындар бір-біріне параллель жалғанған, жабық кинематикалық тізбекті құрады, олар жоғары дәлдік және қаттылықты қамтамасыз етеді [6]. Олар көбінесе жоғары дәлдікті қажет ететін тапсырмалар үшін қолданылады, мысалы материалдарды өңдеу, 3D басып шығару және медицина. Гибриді манипуляторлар: манипуляторлар сериялық және параллель манипуляторлардың сипаттамаларын біріктіреді. Олар икемділік пен дәлдік арасындағы балансын ұсынады, бұл оларды әртүрлі қолдану үшін әмбебап етеді. Жоғарыда айтылған факторлар керекті манипуляторды таңдауды қиындатады. Осыған байланысты манипуляторларды таңдаудағы жүйелік тәсіл мәселесі өзекті инженерлік және ғылыми міндет болып қала береді.

Көптеген манипуляторларға арналған зерттеулерде олардың конструктивтік ерекшеліктері, еркіндік дәрежелерінің саны және жұмыс аймақтары қарастырылады. Мысалы, Ahmed A. [7] мақаласында параллель роботтарға жан-жақты шолу жасалып, олардың артықшылықтары, түрлері қарастырылған. Antonov A. мақаласында гибриді (параллель-сериялы) манипуляторлардың қолдану салалары, жобалау және талдау әдістерін қарастырған [8]. Бұл зерттеулер сериялық, параллель және гибриді манипуляторлар бойынша әдеби шолулардың жүргізілгенін көрсетеді, алайда олардың таңдауын жүйелендірілген әдістер арқылы жасау мәселесі әлі де жеткілікті деңгейде зерттелмеген.

Бұл әдеби шолу негізінде қолданыста бар және зерттеу мақалаларындағы манипуляторларды таңдаудың оңтайлы әдістерін ұсыну арқылы осы олқылықтың орнын толтыруға бағытталған. Осылайша, мақалада манипуляторларды таңдаудағы негізгі қиындықтар қарастырылып, олардың конструктивтік ерекшеліктерін салыстырмалы талдау негізінде оңтайлы шешімдер ұсынылады.

Әдіснама

Осы мақалада сериялық, параллель және гибриді манипуляторлардың конструктивтік ерекшеліктерін, еркіндік дәрежелерін және қаттылығын зерттеу үшін

жүйелі шолу әдістемесі қолданылады. Жүйелі шолу – бұл манипуляторлардың функционалдығына әсер ететін негізгі факторларды анықтауға мүмкіндік беретін мәліметтерді жинаудың және талдаудың құрылымдық тәсілі.

Манипуляторлар кинематикалық құрылымы, еркіндік дәрежелері, жұмыс аймағы және қаттылығы бойынша талданды. Бұл үшін кітаптар, рецензияланған ғылыми мақалалар, ғылыми журналдар, конференция материалдары және жетекші манипулятор өндірушілерінің құжаттары пайдаланылды.

Манипулятордың әртүрлі бағыттардағы қозғалыс сипаттамаларын анықтау үшін еркіндік дәрежесі есептелді, бұл үшін Грюблер формуласы қолданылды.

$$F = 6(l - n - 1) + \sum_{(i=1)}^n f_i$$

мұндағы l - буындар саны, n – қозғалмалы буындар саны, f_i – i -ші буынның еркіндік дәрежесі.

Қолайлы кинематикалық схеманы таңдау барысында еркіндік дәрежесі (DOF) санынан бөлек, динамикалық және конструктивтік аспектілерді ескеру қажет. Негізгі динамикалық параметрлерге жүк көтергіштік қабілеті, жүйенің белгілі бір позициядағы қаттылығы және үдеу қабілеті жатады.

Манипуляторлардың кейбір түрлерінің сипаттамалары 1-кестеде көрсетілген. Сериялық манипуляторлар кең жұмыс аймағына ие және жоғары маневрлік қабілетімен ерекшеленеді. Алайда, олардың консольдік құрылымына байланысты жүк көтергіштік мүмкіндігі шектеулі [9].

1-кесте. Сериялық және параллель манипуляторлардың салыстырмалы сипаттамалары

Сипаттамалар	Сериялық манипулятор	Параллель манипулятор
Қолданылатын тізбек түрі	Ашық кинематикалық тізбек	Жабық кинематикалық тізбек
Тікелей кинематика	Оңай	Күрделі
Кері кинематика	Бірнеше шешім бар	Жай және екі бағытты шешім
Орналасу дәлдігі	Төмен	Орташа
Жүк көтергіштік қабілеті	Төмен	Жоғары
Жұмыс аймағы	Үлкен	Шағын
Инерциялық жүктеме	Жоғары	Төмен

Зерттеулер көрсеткендей, Reimund Neugebauer [10], Uchiyama M. D [11], сондай-ақ Hesse Stefan мен Malisa Viktorio [12] еңбектерінде параллель роботтардың сериялық манипуляторларға қарағанда қозғалмалы массасы аз және динамикалық сипаттамалары

жақсы екені атап өтілген. Дегенмен, олардың негізгі кемшіліктерінің бірі — шектеулі жұмыс аймағы.

Гибридті манипуляторлар жабық және ашық кинематикалық тізбектердің немесе сериялық-параллельдік механизмдердің үйлесімі болып табылады. Мұндай манипуляторлар параллель құрылымдардың шектеулі жұмыс аймағын кеңейтуге және сериялық пен параллель манипуляторлардың артықшылықтарын біріктіруге бағытталған [13-15].

Манипуляторлардың буындарының байланыстары да манипулятордың жұмыс істеуіне, жұмыс аймағының көлеміне, оның жұмыс істеуінің ұзақтығына және өзіндік құнына әсер етеді. Манипулятордың буындарының қосылу түрлерін таңдағанда практикалық маңыздылығы ескеріледі. Сол үшін байланыс түрлері қарастырылды.

Көптеген роботтардағы буындар айналмалы немесе сызықтық қозғалысқа мүмкіндік береді, олар сәйкесінше айналмалы (R - revolute) және қозғалмалы (P - prismatic) буындар деп аталады. Басқа қолжетімді буындарға сферикалық (S), сырғымалы (P), бұрандалы (H), цилиндрлік (C) және универсалды (U) жатады (1-сурет).



1-сурет. Кинематикалық буындардың қосылыстары

Айналмалы (R) буындар таза айналу қамтамасыз етіп, басқа қозғалыстарды азайтады. Бұл буын қосылған денелер арасында тек айналу қозғалысына мүмкіндік береді. Оның бір еркіндік дәрежесі бар.

Призматикалық (P) немесе сырғымалы буындар бекітілген бағыт бойымен сызықтық қозғалысқа мүмкіндік береді. Олар ішкі және сыртқы цилиндрлік беттерден тұрады. Бұл буындар екі түрге бөлінеді: бір сатылы және телескопиялық. Бір сатылы буындар бекітілген бет бойымен сызықты сырғиды, қарапайымдылығы мен қаттылығы жоғары. Телескопиялық буындар ықшамдылығымен және үлкен созылу коэффициентімен ерекшеленеді, сондай-ақ кейбір қозғалыстарда инерцияны азайтады. Призматикалық буындардың бір еркіндік дәрежесі (DOF) бар.

Бұрандалы буындар (Н) – бұрандалы буындар айналу мен сызықтық орын ауыстыруды біріктіріп, бұрандалы жол бойымен қозғалысқа мүмкіндік береді.

Цилиндрлік буындар (С) – екі дөңгелек цилиндрден тұрады, цилиндр осі бойымен айналуға және сырғуға мүмкіндік береді. Функционалды түрде оны айналмалы және призматикалық буындардың тізбегімен алмастыруға болады.

Сферикалық буындар (S) – екі сфералық беттердің түйісуі арқылы түзіледі, үш бағытта айналуға мүмкіндік беріп, үш еркіндік дәрежесіне ие. Оны осьтері қиылысатын үш айналмалы буынмен алмастыруға болады, бірақ кейбір жағдайларда сингулярлыққа әкелуі мүмкін.

Универсалды буындар (U) – кардан немесе гук буыны деп те аталады. Ол екі айырдың арасындағы аяқастәрізді элементтен тұрады және біліктер арасында бұрыштық қозғалысқа мүмкіндік береді. Тиімді жұмыс істеуі үшін жұмыс бұрышы әдетте 25°-тан аспауы керек, ал механикалық шектеулерге байланысты ең үлкен бұрышы шамамен 37,5° болады [17].

Нәтижелер және талқылау

Әдеби шолу барысында сериялық, параллель және гибриді манипуляторлардың негізгі конструктивтік ерекшеліктері, еркіндік дәрежелері және аяқтарының құрылымы талданды. Зерттеу аясында сериялық манипуляторлардың 4 түрі [18-21], параллель манипуляторлардың 11 [22-32] түрі және гибриді манипуляторлардың 3 түрі [33-35] қарастырылды (2-кесте).

Манипуляторлардың қозғалыс мүмкіндіктерін анықтау үшін Грюблер формуласы қолданылды. Бұл әдіс әр манипулятордың буындар саны мен олардың қосылу түрлеріне байланысты еркіндік дәрежесін есептеуге мүмкіндік берді. Талдау нәтижелері көрсеткендей, сериялық манипуляторлар, әдетте, 6 еркіндік дәрежесіне ие болып, күрделі кеңістіктік қозғалыстарды орындай алады. Ал параллель манипуляторлардың еркіндік дәрежесі конструкциясына байланысты өзгеріп, 3-тен 6-ға дейінгі мәнге ие болды. Жабық кинематикалық құрылымының әсерінен кейбір параллель манипуляторларда қозғалыс шектеулері байқалды.

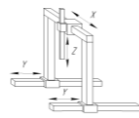
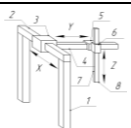
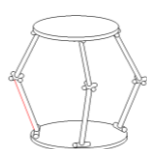
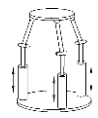
Манипуляторларда қолданылатын кинематикалық буындардың түрлері олардың функционалдығына айтарлықтай әсер етеді. Айналмалы (R) буындар жоғары маневрлік пен ықшамдылықты қамтамасыз етеді. Осындай буындардан жасалған манипуляторлар сызықтық қозғалыс жасайтын манипуляторларға қарағанда ықшам құрылымға ие, кедергілерді тиімді айналып өте алады және кең қолдану аясымен ерекшеленеді.

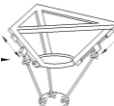
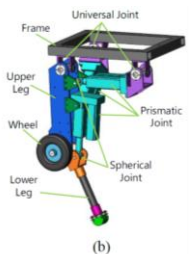
Призматикалық (P) буындар сызықтық қозғалыстар үшін тиімді. Бұрандалы (H) және цилиндрлік (C) буындар бір мезгілде айналу және сызықтық қозғалысты үйлестіре алады, бұл кейбір өндірістік процестерде үлкен артықшылық береді. Сферикалық (S) және универсалды (U) буындар кең қозғалыс мүмкіндіктерін ұсынғанымен, олардың өндірістік күрделілігі мен тозуға бейімділігі олардың қолданылуын шектейді.

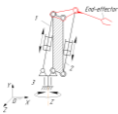
Жүргізілген талдаулар нәтижесінде манипуляторлардың әрбір түріне тән артықшылықтар мен шектеулер анықталды. Сериялық манипуляторлар кең қозғалыс диапазонын ұсынса да, олардың қаттылығы төмен. Параллель манипуляторлар жоғары дәлдік пен қаттылыққа ие, бірақ қозғалыс еркіндігі шектеулі. Гибриді манипуляторлар

осы екі түрдің артықшылықтарын біріктіре отырып, көпсалалы өндірістер үшін оңтайлы шешім болуы мүмкін.

2-кесте. Сериалы, параллель және гибриді манипуляторларды салыстыру кестесі

	Манипулятордың немесе механизмнің атауы	Манипулятор суреті	Еркіндік дәрежесі (DOF)			Жетектердің саны		Аяқ құрылымы
			Барлығы DOF	Айналу	Қозғалмалы	Сызықтық	Айналмалы	
1	2	3	4	5		6	7	8
Сериялық манипуляторлар								
1	IRB 4600-45/2.05 [18]		6	-			4	Барлығы R
2	Flyer-M20iB-35S [19]		6	-			4	Барлығы R
3	Three axis gantry robot (XYZ) type 1 [20]		3DOF	-	3	4	-	Барлығы P
4	Three axis gantry robot (XYZ) type 2 [21]		3DOF	-	3	3	-	Барлығы P
Параллель манипуляторлар								
5	3SPU parallel manipulator [22]		6	3	3	3	3	SPU
6	3RUU (WUT MR2120) - parallel manipulator [23]		3	-	3	-	3	RUU
7	3PRS parallel manipulator [24]		3	1	2	3	-	PRS

8	3PUU parallel kinematic machine [25]		3	-	3	-		PUU
9	4URS parallel manipulators [26]		6	3	3	3		URS
10	4UPU parallel manipulator [27]		4	1	4	2		UPU
11	Stewart-Gough Platform (SPS) [28]		6	3	3	3		SPS
12	Stewart-Gough Platform (UPS) [29]		6	3	3	3		UPS
13	RUS type PM [30]		6	3	3	3		RUS
14	2 legs Delta parallel robot [31]		2	-	2	-		RRR
15	Clavel's 3-DOF Delta parallel robot [32]		3	-	3	-		RRП(R)R
Гибриді манипулятор								
16	Serial-Parallel Hybrid Mechanism [33]		3					2-UPS+U, R+RPS

17	Hydraulic Manipulator [34]		6	4	2	3		$R(RPR)+R(RPR)+R+R+R$
18	Electrical arm [35]		3	1	2	2		$R(RPR)+R(RPR)$

Осылайша, манипуляторды таңдау кезінде оның құрылымдық ерекшеліктерін, жұмыс аймағын, қаттылығын және еркіндік дәрежесін кешенді түрде қарастыру қажет. Алдағы зерттеулерде нақты өндірістік жағдайларға бейімделген манипуляторларды оңтайландыру әдістерін әзірлеу маңызды болып табылады.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу нәтижелері 4 сериялық, 11 параллель және 3 гибридті манипуляторлардың конструктивтік ерекшеліктерін, еркіндік дәрежелерін және қозғалыс мүмкіндіктерін салыстыруға мүмкіндік берді. Грюблер формуласы арқылы әртүрлі манипуляторлардың еркіндік дәрежелері есептеліп, олардың кинематикалық шектеулері мен артықшылықтары нақтыланды.

Зерттеу нәтижесінде сериялық манипуляторлардың 6 еркіндік дәрежесіне ие болып, кеңістіктік қозғалыстарды тиімді орындайтыны анықталды. Олардың құрылымдық икемділігі жоғары болғанымен, қаттылығы төмен және инерция жүктемесі үлкен. Параллель манипуляторлар жабық кинематикалық құрылымы арқасында жоғары қаттылық пен жүк көтергіштікке ие, бірақ қозғалыс еркіндігі шектеулі және күрделі басқаруды қажет етеді. Гибридті манипуляторлар сериялық және параллель құрылымдардың артықшылықтарын біріктіріп, жоғары маневрлік пен жүк көтергіштікті қамтамасыз етеді, бұл оларды өндірістік қолданбалар үшін тиімді шешім етеді.

Кинематикалық буындардың түрлері манипуляторлардың функционалдығына әсер етеді. Айналмалы (R) буындар маневрлік қабілетті арттырса, призматикалық (P) буындар сызықтық қозғалыстар үшін тиімді. Сферикалық (S) және универсалды (U) буындар кең қозғалыс мүмкіндіктерін ұсынғанымен, өндірістік күрделілігі мен тез тозуы белгілі бір шектеулер тудырады.

Осылайша, манипуляторды таңдау кезінде оның құрылымдық ерекшеліктерін, жұмыс аймағын, қаттылығын және еркіндік дәрежесін кешенді түрде қарастыру қажет. Алдағы зерттеулерде ауыр өндірістік жағдайда жұмыс істейтін манипуляторларға шолу маңызды.

Алғыс айту, мүдделер қақтығысы

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды (Грант № AP19679253 – Көпфункционалды мобильді металл 3д принтерді зерттеу және жобалау).

Авторлардың қосқан үлесі.

Мустафа А.Қ. – мәтінді түсіну, талдау, өңдеу, бекіту.

Нұғман Е.З. – мәліметтерді жинау, визуализация, жобалау.

Камзанов Н.С. және Тургунов Ж.С. - мәліметтерді жинау, талдау, жазу.

Әдебиеттер тізімі

1. Юревич Е. И. Основы робототехники, 4 изд. – БХВ-Петербург, 2018.
2. FU KS G. R. C., LEE C. S. G. Robotics: control, sensing, vision and intelligence. – 1987.
3. Ceccarelli M. Fundamentals of mechanics of robotic manipulation. – Cham, Switzerland : Springer, 2022. – Т. 112. – С. 1-381.
4. Олешук В. Автоматизация производственных процессов в машиностроении. – Litres, 2023.
5. Chrysosolouris G., Alexopoulos K., Arkouli Z. Artificial intelligence in manufacturing equipment, automation, and robots //A Perspective on Artificial Intelligence in Manufacturing. – Cham : Springer International Publishing, 2023. – С. 41-78.
6. L.W. Tsai, Robot analysis: the mechanics of serial and parallel manipulators. New York John Wiley & Sons, 1999.
7. Deabs A., Gomaa F. R., Khader K. Parallel Robot //Journal of Engineering Science & Technology Review. – 2021. – Т. 14. – №. 6.
8. Antonov A. Parallel–serial robotic manipulators: a review of architectures, applications, and methods of design and analysis //Machines. – 2024. – Т. 12. – №. 11. – С. 811.
9. Dasgupta B., Mruthyunjaya T. S. The Stewart platform manipulator: a review //Mechanism and machine theory. – 2000. – Т. 35. – №. 1. – С. 15-40.
10. Neugebauer R. (ed.). Parallelkinematische Maschinen: Entwurf, Konstruktion, Anwendung. – Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2006.
11. Uchiyama M. Structures and characteristics of parallel manipulators //Advanced robotics. – 1993. – Т. 8. – №. 6. – С. 545-557., doi: 10.1163/156855394x00248.
12. S. Hesse, V. Malisa, A. Almansa, R. Ambrosch, B. Graf, C. Hieger, M. Trenker, W. Kubinger, Taschenbuch Robotik-Montage-Handhabung, Aufl. München: Carl Hanser, 2010.
13. Shaik A. A., Tlale N. S., Bright G. A new hybrid machine design for a 6 DOF industrial robot arm //International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications. – 2012. – Т. 11. – №. 1-2. – С. 63-80, doi: 10.1504/ijista.2012.046544.
14. Sun L., Fang L. An approximation method for stiffness calculation of robotic arms with hybrid open-and closed-loop kinematic chains //Advances in Mechanical Engineering. – 2018. – Т. 10. – №. 2. – С, doi: 10.1177/1687814018761297.
15. Kumar S. et al. A survey on modularity and distributivity in series-parallel hybrid robots //Mechatronics. – 2020. – Т. 68. – С. 102367., doi: 10.1016/j.mechatronics.2020.102367.
16. Siciliano B., Khatib O., Kröger T. (ed.). Springer handbook of robotics. – Berlin : springer, 2008. – Т. 200. – С. 1.
17. https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=ROB0109EN_G&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch

18. <https://www.fanuc.eu/pl/en/robots/robot-filter-page/m-20-series/m-20ib-35s?returnurl=https%3A%2F%2Fwww.fanuc.eu%2Fpl%2Fen%2Frobots%2Frobot-filter-page%23%3Ft%3Dc1494f783e1f441a8472ab688bf9ca08%2C1fc42cb423f2445bb0da1ea4a885389a%257C0bd0fb61ad95421abdd51eda626103cc%20>
19. Černohorský J., Lindr D. Laboratory gantry robot design and control //Proceedings of the 13th International Carpathian Control Conference (ICCC). – IEEE, 2012. – C. 86-90.
20. Lörinc, M. THREE AXIS LINEAR PORTAL MANIPULATOR. Acta Mechatronica - International Scientific Journal about Mechatronics. Volume: 1 2016 Issue: 2 Pages: 27-30 ISSN 2453-7306.
21. Zohoor H., Vakil M., Pendar H. On the Kinematic Analysis of a Spatial Six-Degree-of-Freedom Parallel Manipulator //Scientia Iranica. – 2009. – T. 16. – №. 1.
22. Bałchanowski J. Positioning accuracy analysis of the parallel mechanism near singular positions. – 2015.
23. Dr. C. Dhandapani 1 Head, Dept of Mechanical Engg, Rajagopal Polytechnic College, Gudiyattam– 632 602, Tamil nadu, India. Triglidle Parallel Manipulator for Orientation and Positioning of Models for Wind Tunnel Testing. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) ISSN: 2278-0181 Published by, www.ijert.org NCFTEET - 2020 Conference Proceedings.
24. Li Y., Xu Q. Stiffness analysis for a 3-PUU parallel kinematic machine //Mechanism and machine theory. – 2008. – T. 43. – №. 2. – C. 186-200.
25. Yi B. J., Cox D., Tesar D. Analysis and design criteria for a redundantly actuated 4-legged six Degree-of-Freedom parallel manipulator //Proceedings 2001 ICRA. IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No. 01CH37164). – IEEE, 2001. – T. 4. – C. 3286-3293.
26. Solazzi M. et al. Kinematics analysis and singularity loci of a 4-UPU parallel manipulator //Advances in Robot Kinematics. – 2014. – C. 467-474.
27. Ay S., Vatandas O. E., Hacıoglu A. Determination of the reachable workspace of 6-3 Stewart platform mechanism //engineering, 2012. Proceedings. World Congress on. – 2012. – T. 3.
28. Dasgupta B., Mruthyunjaya T. S. The Stewart platform manipulator: a review //Mechanism and machine theory. – 2000. – T. 35. – №. 1. – C. 15-40.
29. Mirshekari E., Ghanbarzadeh A., Shirazia K. H. Structure comparison and optimal design of 6-RUS parallel manipulator based on kinematic and dynamic performances //Latin American Journal of Solids and Structures. – 2016. – T. 13. – №. 13. – C. 2414-2438.
30. Huang T. et al. Optimal design of a 2-DOF pick-and-place parallel robot using dynamic performance indices and angular constraints //Mechanism and machine theory. – 2013. – T. 70. – C. 246-253.
31. Maya M. et al. Workspace and payload-capacity of a new reconfigurable delta parallel robot //International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2013. – T. 10. – №. 1. – C. 56.
32. Niu J. et al. Kinematic analysis of a serial-parallel hybrid mechanism and its application to a wheel-legged robot //IEEE Access. – 2020. – T. 8. – C. 111931-111944.
33. Monk S. D. et al. Implementation and evaluation of a semi-autonomous hydraulic dual manipulator for cutting pipework in radiologically active environments //Robotics. – 2021. – T. 10. – №. 2. – C. 62.
34. <https://www.ecagroup.com/en/solutions/arm-5e>.

А.Қ. Мустафа^{1,2}, Е.З. Нұғман¹, Ж. С. Тургунов^{1,2}, Н.С.Камзанов¹

¹Университет Сампаева, г. Алматы, Казахстан

²ТОО «RnD Center», г. Алматы, Казахстан

Обзор серийных, параллельных и гибридных манипуляторов: функциональные возможности и ограничения

Аннотация. В данной статье рассматриваются конструктивные особенности манипуляторов, их степени свободы и кинематические характеристики. Манипуляторы являются важными устройствами, широко используемыми в промышленности, медицине, машиностроении и робототехнике. В современных производственных процессах автоматизация является ключевым фактором повышения эффективности, облегчения труда человека и снижения затрат. Однако, несмотря на стремительное развитие технологий, выбор подходящего манипулятора остается сложной задачей. Выбор манипулятора зависит от множества факторов, включая жесткость конструкции, количество степеней свободы, грузоподъемность и рабочую зону. Основная цель исследования – сравнение конструктивных различий серийных, параллельных и гибридных манипуляторов, анализ их функциональных возможностей и ограничений, а также систематизация критериев выбора. В ходе работы использован метод систематического обзора, данные собираются на основе научной литературы, рецензируемых статей и технической документации производителей. С помощью формулы Грюблера рассчитаны степени свободы манипуляторов, проведена оценка их движений и кинематических параметров. Данное исследование вносит вклад в совершенствование кинематических характеристик манипуляторов, улучшение их адаптации к реальным производственным условиям и систематизацию методов выбора. Практическая значимость работы заключается в разработке рекомендаций, направленных на оптимизацию и выбор эффективных манипуляторов для применения в промышленности, медицине и робототехнике.

Ключевые слова: манипулятор, серийный манипулятор, параллельный манипулятор, гибридный манипулятор, рабочая зона, кинематическая схема.

A. Mustafa^{1,2}, Y. Nugman¹, Zh. Turgunov^{1,2}, N. Kamzanov¹

¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

²LLP "RnD Center," Almaty, Kazakhstan

Review of Serial, Parallel, and Hybrid Manipulators: Functional Capabilities and Limitations

Abstract. Manipulators are essential devices widely used in industry, medicine, mechanical engineering, and robotics. In modern production processes, automation is a key factor in increasing efficiency, reducing human labor, and minimizing costs. However, despite the rapid advancement of technology, selecting a suitable manipulator remains a complex task. The choice of a manipulator depends on various factors, including structural rigidity, the number of degrees

of freedom, load capacity, and working area. The main objective of this study is to compare the structural differences between serial, parallel, and hybrid manipulators, analyze their functional capabilities and limitations, and systematize the selection criteria. A systematic review method was applied, and data were collected from scientific literature, peer-reviewed articles, and manufacturers' technical documentation. Using Grübler's formula, the degrees of freedom of the manipulators were calculated, and their motion capabilities and kinematic parameters were evaluated. This research contributes to improving the kinematic characteristics of manipulators, enhancing their adaptability to real production conditions, and systematizing selection methods. The practical significance of the study lies in developing recommendations aimed at optimizing and selecting efficient manipulators for applications in industry, medicine, and robotics.

Keywords: manipulator, serial manipulator, parallel manipulator, hybrid manipulator, workspace, kinematic scheme.

References

1. Yurevich E. I. Osnovy robototekhniki, 4 izd. – BHV-Peterburg, 2018.
2. FU KS G. R. C., LEE C. S. G. Robotics: control, sensing, vision and intelligence. – 1987.
3. Ceccarelli M. Fundamentals of mechanics of robotic manipulation. – Cham, Switzerland : Springer, 2022. – T. 112. – C. 1-381.
4. Oleshchuk V. Avtomatizaciya proizvodstvennyh processov v mashinostroenii. – Litres, 2023.
5. Chrysosouris G., Alexopoulos K., Arkouli Z. Artificial intelligence in manufacturing equipment, automation, and robots //A Perspective on Artificial Intelligence in Manufacturing. – Cham : Springer International Publishing, 2023. – C. 41-78.
6. L.W. Tsai, Robot analysis: the mechanics of serial and parallel manipulators. New York John Wiley & Sons, 1999.
7. Deabs A., Gomaa F. R., Khader K. Parallel Robot //Journal of Engineering Science & Technology Review. – 2021. – T. 14. – №. 6.
8. Antonov A. Parallel-serial robotic manipulators: a review of architectures, applications, and methods of design and analysis //Machines. – 2024. – T. 12. – №. 11. – C. 811.
9. Dasgupta B., Mruthyunjaya T. S. The Stewart platform manipulator: a review //Mechanism and machine theory. – 2000. – T. 35. – №. 1. – C. 15-40.
10. Neugebauer R. (ed.). Parallelkinematische Maschinen: Entwurf, Konstruktion, Anwendung. – Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2006.
11. Uchiyama M. Structures and characteristics of parallel manipulators //Advanced robotics. – 1993. – T. 8. – №. 6. – C. 545-557., doi: 10.1163/156855394x00248.
12. S. Hesse, V. Malisa, A. Almansa, R. Ambrosch, B. Graf, C. Hieger, M. Trenker, W. Kubinger, Taschenbuch Robotik-Montage-Handhabung, Aufl. München: Carl Hanser, 2010.
13. Shaik A. A., Tlale N. S., Bright G. A new hybrid machine design for a 6 DOF industrial robot arm //International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications. – 2012. – T. 11. – №. 1-2. – C. 63-80, doi: 10.1504/ijista.2012.046544.
14. Sun L., Fang L. An approximation method for stiffness calculation of robotic arms with hybrid open-and closed-loop kinematic chains //Advances in Mechanical Engineering. – 2018. – T. 10. – №. 2. – C, doi: 10.1177/1687814018761297.
15. Kumar S. et al. A survey on modularity and distributivity in series-parallel hybrid robots //Mechatronics. – 2020. – T. 68. – C. 102367., doi: 10.1016/j.mechatronics.2020.102367.

16. Siciliano B., Khatib O., Kröger T. (ed.). Springer handbook of robotics. – Berlin : springer, 2008. – Т. 200. – С. 1.
17. https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=ROB0109EN_G&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch
18. <https://www.fanuc.eu/pl/en/robots/robot-filter-page/m-20-series/m-20ib-35s?returnurl=https%3A%2F%2Fwww.fanuc.eu%2Fpl%2Fen%2Frobots%2Frobot-filter-page%23%3Ft%3Dc1494f783e1f441a8472ab688bf9ca08%2C1fc42cb423f2445bb0da1ea4a885389a%257C0bd0fb61ad95421abdd51eda626103cc%2C8eae3d9d089e416b91dce58863eb7730%257C395757318f7048bab50ba46484da18dd%2C8eae3d9d089e416b91dce58863eb7730>.
19. Černohorský J., Lindr D. Laboratory gantry robot design and control //Proceedings of the 13th International Carpathian Control Conference (ICCC). – IEEE, 2012. – С. 86-90.
20. Lörinc, M. THREE AXIS LINEAR PORTAL MANIPULATOR. Acta Mechatronica - International Scientific Journal about Mechatronics. Volume: 1 2016 Issue: 2 Pages: 27-30 ISSN 2453-7306.
21. Zohoor H., Vakil M., Pendar H. On the Kinematic Analysis of a Spatial Six-Degree-of-Freedom Parallel Manipulator //Scientia Iranica. – 2009. – Т. 16. – №. 1.
22. Bałchanowski J. Positioning accuracy analysis of the parallel mechanism near singular positions. – 2015.
23. Dr. C. Dhandapani 1 Head, Dept of Mechanical Engg, Rajagopal Polytechnic College, Gudiyattam– 632 602, Tamil nadu, India. Triglide Parallel Manipulator for Orientation and Positioning of Models for Wind Tunnel Testing. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) ISSN: 2278-0181 Published by, www.ijert.org NCFET - 2020 Conference Proceedings.
24. Li Y., Xu Q. Stiffness analysis for a 3-PUU parallel kinematic machine //Mechanism and machine theory. – 2008. – Т. 43. – №. 2. – С. 186-200.
25. Yi B. J., Cox D., Tesar D. Analysis and design criteria for a redundantly actuated 4-legged six Degree-of-Freedom parallel manipulator //Proceedings 2001 ICRA. IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No. 01CH37164). – IEEE, 2001. – Т. 4. – С. 3286-3293.
26. Solazzi M. et al. Kinematics analysis and singularity loci of a 4-UPU parallel manipulator //Advances in Robot Kinematics. – 2014. – С. 467-474.
27. Ay S., Vatandas O. E., Hacıoglu A. Determination of the reachable workspace of 6-3 Stewart platform mechanism //engineering, 2012. Proceedings. World Congress on. – 2012. – Т. 3.
28. Dasgupta B., Mruthyunjaya T. S. The Stewart platform manipulator: a review //Mechanism and machine theory. – 2000. – Т. 35. – №. 1. – С. 15-40.
29. Mirshekari E., Ghanbarzadeh A., Shirazia K. H. Structure comparison and optimal design of 6-RUS parallel manipulator based on kinematic and dynamic performances //Latin American Journal of Solids and Structures. – 2016. – Т. 13. – №. 13. – С. 2414-2438.
30. Huang T. et al. Optimal design of a 2-DOF pick-and-place parallel robot using dynamic performance indices and angular constraints //Mechanism and machine theory. – 2013. – Т. 70. – С. 246-253.

31. Maya M. et al. Workspace and payload-capacity of a new reconfigurable delta parallel robot //International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2013. – Т. 10. – №. 1. – С. 56.
32. Niu J. et al. Kinematic analysis of a serial-parallel hybrid mechanism and its application to a wheel-legged robot //IEEE Access. – 2020. – Т. 8. – С. 111931-111944.
33. Monk S. D. et al. Implementation and evaluation of a semi-autonomous hydraulic dual manipulator for cutting pipework in radiologically active environments //Robotics. – 2021. – Т. 10. – №. 2. – С. 62.
34. <https://www.ecagroup.com/en/solutions/arm-5e>.

Авторлар туралы мәлімет:

А.Қ. Мустафа – доктор PhD, қауымдасқан профессор, Сәтбаев университеті, Сәтбаев көш. 22, Алматы қ., 050013, аға ғылыми қызметкер, ЖШС «RnD Center», Алматы қ., 050067, Қазақстан, тел: +77075233344, E-mail: mustafa_azamat@mail.ru.

Е.З. Нұғман – доктор PhD, кафедра меңгерушісі, Сәтбаев университеті, Сәтбаев көш. 22, Алматы қ., 050013, Қазақстан, тел: +77075233344, E-mail: e.nugman@satbayev.university.

Тургунов Ж.С. - ғылыми қызметкер, Сәтбаев университеті, Алматы қ., 050013, ғылыми қызметкер, ЖШС «RnD Center», Алматы қ., 050067, Қазақстан, e-mail: jarqyn.kz@gmail.com.

Камзанов Н.С. - доктор PhD, қауымдасқан профессор, Сәтбаев университеті, Сәтбаев көш. 22, Алматы қ., 050013, Қазақстан, тел: +7 702 110 0005.

А.Қ. Мустафа – доктор PhD, ассоциированный профессор, Сатбаев университет, ул. Сатбаев 22, г. Алматы, старший научный сотрудник, ТОО «RnD Center», Алматы, 050067, Казахстан, тел: +77075233344, E-mail: mustafa_azamat@mail.ru.

Е.З. Нұғман – доктор PhD, заведующий кафедры, Сатбаев университет, ул. Сатбаев 22, г. Алматы, Казахстан, тел: +77075233344, E-mail: e.nugman@satbayev.university.

Тургунов Ж.С. - научный сотрудник, Сатбаев Университет, г. Алматы, 050013, научный сотрудник, ТОО «RnD Center», г. Алматы, 050067, Республика Казахстан, e-mail: jarqyn.kz@gmail.com.

Камзанов Н.С. – доктор PhD, ассоциированный профессор, Университет Сатбаева, ул. Сатбаева 22, г. Алматы, 050013, Казахстан, тел: +7 702 110 0005.

A. Mustafa – PhD, Associate Professor, Satbayev University, 22 Satbaev st., Almaty, Senior Researcher, LLP "RnD Center", Almaty, 050067, Kazakhstan, phone: +77075233344, E-mail: mustafa_azamat@mail.ru.

E. Nugman – PhD, head of department, Satbayev University, 22 Satbaev st., Almaty, Kazakhstan, tel: +77075233344, E-mail: e.nugman@satbayev.university.

Zh. Turgunov - researcher, Satbayev University, Almaty, 050013, researcher, «RnD Center» LLP, Almaty, 050067, Republic of Kazakhstan, e-mail: jarqyn.kz@gmail.com.

N. Kamzanov– PhD, Associate Professor, Satbayev University, 22 Satbayev St., Almaty, 050013, Kazakhstan, Tel: +7 702 110 0005.



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 67.07.11

Научная статья

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-151-2-195-208>

Семиотика орнаментальных фасадов в жилых микрорайонах Алматы

И.И. Остапенко¹ , К.Б. Бектурганова¹ , Д.Г. Дюсенова¹ 
Р.У. Чекаева² , А.М. Есенбаев*³ 

¹Международная образовательная корпорация (кампус КазГАСА), Алматы, Казахстан

²НАО «Евразийский национальный университет им.Л.Н.Гумилева», Астана, Казахстан

³НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им.С.Сейфуллина»,
Астана, Казахстан

E mail: yess.arken@gmail.com

Аннотация. Исследование посвящено семиотическому анализу смыслов архитектуры жилых зданий, рассматриваемых как знаковые системы в городском пространстве. Цель – выявить роль орнамента на фасадах жилых зданий микрорайонов Алматы в конструировании идентичности (культурной, локальной, коллективной) и формировании городской памяти посредством семиотического анализа. Работа углубляет понимание семиотики архитектуры на региональном примере (город Алматы) и обосновывает сохранение застройки как носителя идентичности и памяти, что составляет ее научную и практическую значимость. Методология основана на семиотическом подходе, включающем анализ орнаментальных элементов как знаков (иконических, индексальных, символических) в культурно-историческом контексте на основе визуальных примеров. Выявлены характерные типы орнаментации 1960-80-х годов в Алматы. Анализ показал многослойность значений, связанных с эпохой и культурой. Орнамент играет ключевую роль в конструировании идентичности и поддержании городской памяти жителей микрорайонов. Ценность в применении семиотики к архитектуре города Алматы, демонстрируя роль декора в типовой застройке как носителя смыслов и кодов советского периода. Практические результаты обосновывают сохранение орнамента как элемента наследия и идентичности, полезны для градостроителей и архитекторов.

Ключевые слова: семиотика, орнамент, жилые микрорайоны, городская идентичность, городская память, культурные коды, архитектурные символы.

Поступила 21.04.2025. Доработана 06.06.2025. Одобрена 11.04.2025. Доступна онлайн 30.06.2025

* автор по корреспонденции

Введение

Современное городское пространство представляет собой не только физическую среду обитания, но и сложную систему знаков, кодов и смыслов, формирующих коллективное восприятие, повседневные практики и культурную идентичность. Визуальный облик города, в особенности архитектура жилой среды, выступает при этом в роли своеобразного «языка», способного транслировать идеологические установки, исторические нарративы и культурные архетипы [1]. Фасад здания – ключевая плоскость визуального контакта между городом и его жителями, в которой находит отражение взаимодействие между утилитарной функцией, художественным оформлением и социокультурной репрезентацией.

Особую роль в формировании смыслового слоя архитектуры играет орнамент – универсальный элемент архитектурной композиции, обладающий высокой знаковостью и культурной пластичностью. Орнамент на фасадах жилых домов – это не только декоративный мотив, но и визуальный маркер эпохи, средство выражения идентичности, а также важный элемент городской памяти. Его структура, мотивы, способы интеграции в архитектуру фасада могут быть прочитаны как элементы семиотической системы, репрезентирующей конкретные исторические, идеологические и эстетические контексты.

Во второй половине XX века в советской архитектуре происходило переосмысление роли декора в условиях массового индустриального строительства. Несмотря на доминирование принципов стандартизации и типизации, именно в этот период в архитектуре Алматы возникает феномен фасадного орнаментирования, отражающий попытки локализовать универсальные архитектурные формы за счёт включения мотивов, отсылающих к местным культурным традициям, народному искусству, и декоративной традиции казахского зодчества. Эти элементы – зачастую выполненные в бетоне, мозаике или рельефной штукатурке – формируют уникальный визуальный ландшафт городской периферии, особенно в жилых микрорайонах, построенных в 1960–1980-е годы.

Несмотря на высокую насыщенность фасадов семиотически значимыми орнаментальными элементами, в отечественной научной и архитектурной критике данный пласт пока остаётся на периферии внимания. Исследования советской архитектуры Алматы, как правило, концентрируются на градостроительных аспектах или на выдающихся общественных зданиях [2], в то время как повседневная архитектура микрорайонов, и особенно – её декоративно-семиотический слой, остаётся недостаточно исследованным. Между тем, эти фасады, будучи пространствами повседневной визуальной практики, выполняют важные функции культурной трансляции и идентификации.

Настоящее исследование направлено на выявление и интерпретацию орнамента как визуального языка, формирующего идентичность жилой архитектуры Алматы. Анализируя орнамент в контексте семиотики архитектуры, мы рассматриваем его не только как декоративный элемент, но и как устойчивую знаковую структуру, способную конструировать символические смыслы, связывающие жителя с пространством и временем.

Объектом исследования являются фасады жилых зданий в микрорайонах Алматы, построенные во второй половине XX века. Предмет исследования – орнаментальные элементы этих фасадов как часть семиотической системы городской архитектуры.

Цель работы – проанализировать орнамент в архитектуре жилых микрорайонов

Алматы как элемент, формирующий идентичность городской среды и выступающий носителем коллективной памяти.

В рамках исследования поставлены следующие задачи:

1. Изучить теоретические основания семиотики архитектурного пространства, визуального языка и городского орнамента;
2. Раскрыть функции орнамента в контексте формирования культурной и локальной идентичности;
3. Определить символические и коммуникативные свойства фасадного орнамента;
4. Провести типологический анализ орнаментальных мотивов на примере жилых зданий Алматы;
5. Интерпретировать найденные элементы в контексте культурной, исторической и идеологической среды советского Казахстана;
6. Определить потенциал сохранения и переосмысления орнаментального наследия в рамках современных практик ревитализации городской среды.

Методология

Методологическая база исследования строится на междисциплинарном подходе, включающем принципы семиотики (Р. Барт, У. Эко, Ю.М. Лотман), визуального анализа и историко-культурного контекстуального подхода. Такой синтез позволяет рассматривать орнамент как динамическую систему смыслов, меняющихся под воздействием времени, политического дискурса и социокультурных трансформаций.

Научная новизна работы заключается в систематизации и интерпретации ранее неосмысленного пласта визуального наследия массового жилищного строительства Алматы – фасадного орнамента как семиотической системы. Кроме того, предложена теоретическая модель анализа орнамента как медиатора между архитектурной формой и коллективной идентичностью, способного выполнять функцию культурной трансляции в городской ткани.

Практическая значимость исследования заключается в возможностях его применения в сфере охраны архитектурного наследия советского периода, при разработке стратегий устойчивого развития микрорайонов, а также в архитектурной практике, ориентированной на работу с локальными кодами и историко-культурным контекстом.

Методологическая основа статьи опирается на междисциплинарный подход, объединяющий:

- семиотический анализ – выявление знаковых систем, где орнамент рассматривается как знак, несущий значения, формируемые в историко-культурной и идеологической среде;
- визуальный анализ – изучение композиций, ритмов, модулей, фактур и материалов орнамента на фасадах;
- культурно-исторический подход — интерпретация орнамента через призму локального контекста, идеологических установок советского времени и элементов национального зодчества;
- анализ проводится на основе авторского полевого исследования, дополненного архивными и литературными источниками. Особое внимание уделяется связи орнамента с типовыми сериями домов и влиянию местных строительных мастерских.

Результаты и Обсуждение

Городское пространство и архитектурные объекты воспринимаются человеком не только как функциональные элементы, но и как носители смыслов [1, 2]. Понимание механизмов их формирования и передачи лежит в русле семиотики – науки о знаках и знаковых системах. Семиотический подход позволяет рассматривать городскую среду как сложный "текст", насыщенный знаками, подлежащими прочтению и интерпретации.

Применение семиотики к архитектуре позволяет воспринимать здание или ансамбль как особый вид коммуникации – "язык", со своей синтаксической структурой, семантикой и прагматикой. Элементы формы – планировка, пропорции, материалы, декор – функционируют как знаки, несущие сообщения.

Особое место в этой системе занимает орнамент. Исторически он выполнял не только эстетическую, но и символическую или утилитарную (например, защитную) функции [3]. На фасадах орнаментальные элементы несут культурные коды и исторические смыслы: они могут указывать на эпоху, культурные влияния, ценности общества или назначение здания [1, 3].

Семиотический анализ орнамента выявляет признаки иконичности (сходства), индексальности (указания на связь) и символичности (условной значимости). Орнамент часто сочетает в себе эти типы, делая интерпретацию многослойной и контекстуальной.

Понимание таких значений неразрывно связано с культурными кодами, в рамках которых орнамент создан. Эти негласные "правила" определяют восприятие форм и мотивов членами сообщества [1, 2]. Исторический и культурный контекст, типология здания и его положение в городской структуре играют ключевую роль в декодировании архитектурных знаков.

Переходя от семиотических основ к функциям знаков в архитектуре, важно рассмотреть роль орнамента как активного участника в формировании индивидуальной, коллективной и пространственной идентичности [1, 2]. Будучи носителем культурных кодов, орнамент способен вызывать ассоциации, пробуждать воспоминания и укреплять чувство принадлежности.

Определённые мотивы, формы и стили, характерные для исторических эпох, культур или регионов, превращают орнамент в визуальный маркер, связывающий объект с более широким контекстом. Он может отсылать к общей истории, национальному наследию или локальным особенностям, создавая ощущение преемственности и укоренённости [1, 3].

На уровне города, в том числе в жилых микрорайонах, орнаментальные элементы формируют уникальный облик и атмосферу – так называемый *genius loci*, «дух места». Декор помогает отличать здания друг от друга и способствует созданию локальной идентичности, воспринимаемой как жителями, так и гостями [1, 2]. Через архитектурные детали может формироваться чувство общности и локального патриотизма.

В жилой архитектуре орнамент отражает не только эстетику и идеологию времени строительства (например, монументальность или функциональность) [2, 4], но и стремление создать более тёплую, «домашнюю» атмосферу в типовой застройке. Традиционные мотивы, природные символы или абстрактные узоры могут вызывать подсознательные ассоциации с корнями, историей и культурными ценностями [1, 3].

Орнаменты на фасадах алматинских домов классифицируются следующим образом:
Геометрический орнамент – типовой для раннего модернизма и брутализма; часто

представлен в виде рельефных панелей на торцах зданий;

Растительный орнамент – стилизация под традиционные казахские мотивы (рог, лист, цветок), как аллюзия на народное искусство;

Фольклорные символы — элементы юртового декора, ковровых узоров, символов солнца, воды, движения;

Индустриальные абстракции — позднесоветские рельефы, отсылающие к прогрессу и труду (шестерёнки, молоты, волны).

Городское пространство – не только сцена текущих событий, но и хранилище коллективной памяти [1]. Эта память воплощена в зданиях, улицах, площадях – своеобразных «архитектурных архивах» или «мнемонических ландшафтах». Особую роль играют фасады зданий, как наиболее видимая и доступная часть архитектуры: они ежедневно взаимодействуют с горожанами и транслируют сообщения о прошлом.

Мемориальные элементы на фасадах могут включать не только доски и барельефы, но и стилистические приёмы, символы и орнаментальные мотивы, ассоциирующиеся с конкретными эпохами или значимыми событиями. С семиотической точки зрения они выступают как знаки: индексы (например, доска с указанием проживания известной личности) и символы (идеологические или культурные образы, требующие интерпретации).

В жилых микрорайонах Алматы, особенно построенных в советский период, мемориальные функции фасадов проявляются в архитектурных деталях, характерных для того времени. Это могут быть: орнаменты и стилистика эпохи, встроенные символы, отражающие её идеалы, мемориальные доски, посвящённые жителям – ветеранам, учёным, деятелям культуры [2, 3, 4].

Для жителей такие элементы становятся частью повседневной визуальной среды. Они ненавязчиво напоминают о прошлом, формируя чувство сопричастности не только к месту, но и к его истории и людям. Таким образом, фасады жилых зданий, как носители мемориальных знаков и символов, играют важную роль в поддержании городской памяти и связи между поколениями.

Жилые микрорайоны Алматы, формировавшиеся преимущественно в периоды массовой застройки второй половины XX века (особенно в 1960-80-е годы), представляют собой уникальный объект для семиотического исследования [2, 4]. Архитектура этих районов, несмотря на широкое применение типовых проектов, часто включает в себя декоративные элементы и орнаментацию, которые несут значительную смысловую нагрузку и участвуют в формировании визуального и культурного ландшафта города [2, 3]. Фасады этих зданий выступают как "тексты", вписанные в городскую среду, чье прочтение требует семиотического подхода [1].

Анализ орнаментальных решений на фасадах жилых зданий в микрорайонах Алматы позволяет выявить характерные типы и мотивы, отражающие как общие тенденции советской архитектуры [4], так и региональные особенности [2, 3]. Среди наиболее часто встречающихся элементов можно выделить следующие архитектурные компоненты:

Геометрические орнаменты и абстрактные композиции. Часто выполненные в бетоне, мозаике или штукатурке, эти узоры могут быть как простыми (линии, квадраты, круги), так и сложными абстракциями [3]. С семиотической точки зрения, они могут символизировать порядок, рациональность, движение к прогрессу – идеи, характерные для

эпохи модернизма и советской идеологии [2, 4]. Они создают определенный ритм и текстуру фасада, влияя на общее восприятие здания.

Стилизованные растительные и животные мотивы. Нередко встречаются изображения растений (цветы, листья), птиц или животных, адаптированные для архитектурного декора [3]. Эти мотивы могут отсылать к природе Казахстана, символизировать жизнь, плодородие, благополучие [1, 3]. Их семиотика часто связана с традиционными культурными символами, переосмысленными в контексте городской архитектуры [1, 2].

Элементы, апеллирующие к национальной культуре. Это могут быть мотивы, напоминающие узоры казахских ковров (киизов), элементы традиционного прикладного искусства, или стилизованные изображения, связанные с кочевой культурой или символами государственности [2, 3]. Использование таких элементов на фасадах жилых домов в советское время было проявлением политики "национальной по форме, социалистической по содержанию" и имело целью интегрировать национальные мотивы в новую городскую среду, способствуя формированию национальной идентичности в рамках единого государства [2, 4]. Семиотически эти элементы выступают как мощные символы культурной принадлежности и исторической преемственности [1, 2].

Символика советской эпохи. Хотя и не всегда чисто орнаментальные, но часто интегрированные в фасадный декор, могут встречаться символы, связанные с достижениями науки, техники, космоса, труда, или прямо идеологические знаки (хоть и реже на жилых домах, чем на общественных зданиях) [5]. Эти мемориальные элементы фасадов действуют как знаки-индексы и знаки-символы, прямо отсылая к определенному историческому периоду и его ценностям, формируя городскую память о советской эпохе в сознании жителей [2, 4].

Архитектурный облик жилых зданий в микрорайонах Алматы, сформировавшийся преимущественно во второй половине XX века, несмотря на преобладание типовых проектных решений, отличается заметным вниманием к декоративным элементам. Согласно исследованию О.Н. Приемца и К.И. Самойлова "Развитие орнамента в архитектуре Алматы", именно в период, начиная с 1960-х годов, происходит значительное изменение в применении орнаментации на фасадах. В этот период, как отмечают авторы, наблюдается резкое сокращение количества классических элементов декора (колонны, пилястры, карнизы и т.п.) по сравнению с архитектурой 1950-х годов, при этом количественные показатели в орнаментированных панно и вставках существенно увеличиваются, как по разнообразию рисунков, так и по частоте их использования. Значительно возрастает и размер применяемых орнаментированных панно [6].

Наибольшим разнообразием на протяжении этого периода обладали именно орнаментированные вставки и панно, многочисленные примеры которых встречаются на жилых зданиях города.

Наибольшим разнообразием на протяжении этого периода обладали именно орнаментированные вставки и панно, расположенные на глухих участках стен, над входами или на торцах зданий. Примеры таких решений показаны на жилых домах по многим улицам Алматы (Рис. 1).

На фасадах этих зданий встречаются различные типы орнаментов. Например, широкие панно на торцах домов (ул. Казыбек би и ул. Навои) часто сформированы из горизонтальных рядов модульных элементов. Эти модули могут представлять собой

двухплоскостные высокорельефные узоры, основанные на спиральных или S-образных завитках, иногда с лепестками или Т-образными вставками. Рисунки модулей варьируются, как видно на примерах по ул. Тулебаева и ул. Шаляпина, где используются симметрично расположенные завитки, соединенные бутоном, или стилизованные листья (Рис. 1). Размеры модулей часто увязаны с размерами оконных проемов.



Рисунок 1. Орнаментированные вставки и панно: 1 – Жилой дом, ул.Казыбек би; 2 – Жилой дом, ул.Навои; 3 – Жилой дом, ул.Тулебаева; 4 – Жилой дом, ул.Шаляпина; 5, 6 – Жилой дом, ул.Богенбай батыра; 7 – Жилой дом, ул.Мауленова; 8 – Жилой дом, ул.Шевченко; 9, 10 – Жилой дом, ул.Кажи Мукана; 11 – Жилой дом, ул.Наурызбай батыра; 12 – Жилой дом, пр.Достык; 13 – Жилой дом, ул.Утеген батыра; 14 – Жилой дом, ул.Наурызбай батыра; 15 – Жилой дом, ул.Мынбаева; 16 – Жилой дом, ул.Айтеке би [4]

Помимо торцевых панно, орнаментированные элементы встречаются в межоконных пространствах (ул. Богенбай батыра) или на участках лестничных клеток (ул. Тулебаева). Встречаются узоры, основанные на соединенных спиральных завитках, дополненные лепестками и филенками, которые komponуются в вытянутые по горизонтали модули и располагаются зеркально (ул. Богенбай батыра, ул. Мауленова, ул. Шевченко).

Также применялись низкорельефные или плоские двуцветные решения, как панно на

доме по ул. Шаляпина. Встречаются и более графичные или символические узоры, например, на торце дома по пр. Достык использованы орнаментальные модули, расположенные в шахматном порядке, а на лоджиях дома по ул. Айтеке би – узор из диагонально расположенных антропоморфных фигур (Рис. 1).

Орнаменты на зданиях часто выполнены в виде модульных плит различной формы – прямоугольных, квадратных, широких или узких, расположенных на стенах или ограждениях балконов



Рисунок 2. Орнаментированные вставки и панно: 1 – Жилой дом, ул.Маметовой; 2 – Жилой дом, ул.Жамбыла; 3 – Жилой дом, пр.Достык; 4 – Жилой дом, ул.Навои; 5 – Жилой дом, ул.Карасай батыра; 6 – Жилой дом, ул.Навои; 7 – Жилой дом, ул.Навои; 8 – Жилой дом, ул.Манаса; 9 – Жилой дом, ул.Пушкина; 10 – Жилой дом, ул.Кунаева; 11 – Жилой дом, ул.Жамбыла; 12 – Жилой дом, ул.Жамбыла; 13 – Жилой дом, пр.Достык; 14 – Жилой дом, пр.Достык; 15 – Жилой дом, пр.Достык; 16 – Жилой дом, ул.Навои. [4]

Среди узоров встречаются геометрические формы, такие как соты или пересекающиеся квадраты, а также разнообразные комбинации спиральных и S-образных завитков, дополненные лепестками и бутонами. Некоторые узоры стилизованы под растительные мотивы. Применяются разные техники рельефа – высокий, низкий или

вдавленный (Рис. 2).

Здесь также встречаются различные формы плит (квадратные, прямоугольные) и техники рельефа (высокий, низкий, вдавленный, контурный, с использованием цвета). Узоры включают сложные геометрические композиции, построенные вокруг многоугольников или кругов (ул. Мауленова, ул. Чайковского, ул. Желтоксан), разнообразные сочетания спиральных и S-образных завитков, часто с лепестками и бутонами (ул. Навои, ул. Зенкова, пр. Назарбаева, пр. Абая, пр. Сейфуллина) (Рис. 3).



Рисунок 3. Орнаментированные вставки и панно: 1 – Жилой дом, ул.Мауленова; 2 – Жилой дом, ул.Чайковского; 3 – Жилой дом, ул.Желтоксан; 4 – Жилой дом, пр.Назарбаева; 5 – Жилой дом, ул.Навои; 6 – Жилой дом, ул.Зенкова; 7 – Жилой дом, ул.Айтеке би; 8 – Жилой дом, ул.Казыбек би; 9 – Жилой дом, пр.Абая; 10 – Общежитие, пр.Сейфуллина; 11 – Жилой дом, пр.Жибек жолы; 12 – Жилой дом, ул.гоголя; 13 – Жилой дом, пр.Абая; 14 – Жилой дом, ул.Мустафина; 15 – Жилой дом, ул.Валиханова; 16 – Жилой дом, ул.Валиханова. [4]

Среди примеров есть более символические или фигуративные элементы, такие как диагонально расположенные антропоморфные фигуры (ул. Айтеке би) или крупный рогаобразный узор (пр. Абая). Орнамент применяется на стеновых панелях, ограждениях

балконов и лоджий, межоконных вставках, подоконных элементах и даже в виде железобетонных решеток перед чердачными проемами (ул. Мустафина, ул. Валиханова, пр. Жибек жолы). Некоторые узоры образуют непрерывные горизонтальные полосы или гирляндобразные композиции. Ряд примеров показывает, как орнамент может быть связан с конструктивной логикой здания (пр. Абая, ул. Мустафина) (Рис. 3).

Заключение

Рассмотрение орнамента как семиотической системы позволяет расширить традиционные рамки архитектурного анализа и актуализировать вопрос о сохранении визуального наследия позднесоветского периода. Орнамент здесь – не архаика и не избыточность, а механизм, посредством которого архитектура вступает в диалог с жителями, формируя чувство места и культурной сопричастности. В условиях современной застройки, когда преобладает нейтральная архитектура, подобный визуальный язык может быть актуализирован в проектах ревитализации, реконструкции и в новой архитектуре, опирающейся на локальные смыслы. Проведённое исследование орнамента на фасадах жилых зданий Алматы второй половины XX века позволяет сформулировать ряд собственных выводов:

1. Орнамент в архитектуре – это язык, а не украшение. На основе семиотического подхода можно утверждать, что фасадный орнамент выступает как самостоятельная знаковая система, способная передавать устойчивые культурные смыслы вне зависимости от контекста строительства. Его можно интерпретировать как форму нематериального наследия, зафиксированную в материальной оболочке здания.

2. Формально-функциональный подход советского модернизма был не полным без визуального кода, который часто создавался за счёт орнамента. Несмотря на доминирование индустриального метода, именно декоративные элементы позволяли встраивать универсальные типовые формы в локальный культурный контекст, делая архитектуру узнаваемой и близкой для населения. В условиях Алматы это обеспечивалось за счёт внедрения казахских традиционных мотивов, переработанных в духе модерна.

3. Орнамент на фасаде жилого дома выполнял квазисоциальную функцию. Он способствовал формированию визуальной идентичности района, задавал культурный код среды и выступал своеобразным «языком принадлежности», особенно в многонациональном городе. Это показывает, что декор был не только элементом визуальной риторики, но и механизмом культурной навигации в пространстве города.

4. Современное пренебрежение орнаментом в жилой архитектуре ведёт к потере визуальной и культурной выразительности городской среды. Сегодня мы наблюдаем обратный процесс – обесценивание фасадного знака, замещение выразительности стерильной универсальностью. Однако орнамент может быть переформулирован в духе времени, не как прямое цитирование, а как смысловая стратегия, способная возродить архитектурный диалог с культурой.

5. Будущее архитектуры городов, подобных Алматы, во многом зависит от способности актуализировать орнамент как носитель культурной памяти и идентичности. Это требует переоценки советского наследия не как временного архаизма, а как полноценного культурного пласта, с которым необходимо работать через ревитализацию, а не снос. В этом контексте орнамент становится точкой входа в архитектурное наследие, а не просто

Благодарность, конфликт интересов

Исследование проведено с использованием частных источников финансирования. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов.

Остапенко И.И. – сбор и анализ данных, написание текста, координация работы коллектива

Бектурганова К.Б. – сбор информации, графическое оформление, написание текста

Дюсенова Д.Г. – сбор информации, методология, подготовка графических материалов.

Чекаева Р.У. – критический пересмотр, редактирование, концептуальное мышление.

Есенбаев А.М. – критический пересмотр, формулирование научных выводов, редактирование окончательного текста.

Список литературы

1. Привалова В. М. Семантика орнамента в семиотике культуры (антропологическая проекция ритуала в геометрическом орнаменте) // Известия Самарского научного центра РАН. 2010. №5-1
2. Aukhadiyeva L.M., Karatseyeva T. Architectural images and symbols of the regional identity of modern architecture in Kazakhstan // Innovaciencia, 2022; 10(1); 1-17 <https://doi.org/10.15649/2346075X.2960>
3. Абдрасилова Г.С., Данибекова Э.Т., Туякаева А.К., Сыздыкова А.С. Архитектура Алматы XX века: в поисках культурной идентичности // КазГАСА Вестник №4 (94), 2024. <https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.4-01>
4. Приемец О.Н., Самойлов К.И. Развитие орнамента в архитектуре Алматы. – Алматы: Издательский дом «Строительство и архитектура», 2019.
5. Самойлов К.И. Архитектура Казахстана XX века (Развитие архитектурно-художественных форм). – Москва-Алматы: Издательство «М-Ари дизайн», 2004.
6. Хамедов А.М. Развитие неклассической стилистики в Алматинском зодчестве конца XIX – начала XXI века: Автореф. дис. канд. архитектуры. – Алматы, 2010.

И.И. Остапенко¹, К.Б. Бектурганова¹, Д.Г. Дюсенова¹, Р.У. Чекаева², А.М. Есенбаев^{*3}

¹Халықаралық Білім беру Корпорациясы (КазБСҚА кампусы), Алматы, Қазақстан

²«Л.Н.Гумилев ат. Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан

³«С.Сейфуллин ат. Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан

Алматының шағын тұрғын аудандарындағы сәндік қасбеттердің семиотикасы

Аңдатпа. Бұл зерттеу жұмысы тұрғын үйлердің сәулетін қалалық кеңістіктегі таңбалық жүйе ретінде қарастыра отырып, оның мағыналық құрылымын семиотикалық тұрғыдан талдауға арналған. Зерттеудің мақсаты – Алматы қаласының

тұрғын аудандарындағы үйлердің фасадтарындағы сәндік элементтердің (мәдени, жергілікті және ұжымдық) сәйкестік пен қалалық жадыны қалыптастырудағы рөлін анықтау. Жұмыс аймақтық мысал – Алматы қаласы негізінде сәулет семиотикасын терең түсінуге жол ашады және құрылыс нысандарын сәйкестік пен тарихи жадының тасымалдаушысы ретінде сақтаудың ғылыми және практикалық маңызын дәлелдейді. Зерттеу әдістемесі – сәндік элементтерді мәдени-тарихи контексте иконикалық, индекстік және символдық таңбалар ретінде қарастыратын семиотикалық талдауға негізделген. Алматыда 1960–1980 жылдары салынған үйлерге тән орнамент түрлері анықталып, олардың дәуір мен мәдениетке байланысты көпқабатты мағыналары ашылды. Орнамент тұрғындардың сәйкестік сезімін қалыптастыру мен қалалық жадыны сақтау ісінде маңызды рөл атқаратыны дәлелденді. Бұл зерттеу Алматы қаласының сәулетіне семиотикалық тәсілді қолданудың маңыздылығын көрсетіп, кеңестік кезеңдегі типтік құрылыс декорының мәдени кодтар мен мағыналардың тасымалдаушысы ретіндегі рөлін ашады. Практикалық нәтижелер орнаментті мұра мен сәйкестік элементі ретінде сақтау қажеттігін негіздеп, сәулетшілер мен қала құрылысын жоспарлаушылар үшін пайдалы бола алады.

Түйін сөздер: семиотика, ою-өрнек, тұрғын аудандар, Қалалық сәйкестілік, қалалық жады, мәдени кодтар, сәулет рәміздері.

I. Ostapenko¹, K.Bekturganova¹, D.Dyussenova¹, R. Chekaeva², A. Yessenbayev³

¹ *International Educational Corporation (campus KazLAACE), Almaty, Kazakhstan*

² *«L.N. Gumilyov Eurasian National University», Astana, Kazakhstan*

³ *«S.Seifulin Kazakh Agrotechnical Research University», Astana, Kazakhstan*

The semiotics of ornamental facades in residential microdistricts of Almaty

Abstract. This research is dedicated to the semiotic analysis of the meanings embedded in the architecture of residential buildings, viewed as sign systems within the urban space. The aim is to identify the role of ornamentation on the facades of residential buildings in Almaty's microdistricts in constructing identity (cultural, local, collective) and shaping urban memory through semiotic analysis. The work deepens the understanding of architectural semiotics using a regional example (the city of Almaty) and argues for the preservation of these developments as carriers of identity and memory, which constitutes its scientific and practical significance. The methodology is based on a semiotic approach, involving the analysis of ornamental elements as signs (iconic, indexical, symbolic) within a cultural-historical context, based on visual examples. Characteristic types of ornamentation from the 1960s-80s in Almaty have been identified. The analysis revealed multi-layered meanings associated with the era and culture. Ornamentation plays a key role in constructing identity and maintaining the urban memory of microdistrict residents. The value lies in applying semiotics to the architecture of Almaty, demonstrating the role of decor in typical developments as a carrier of meanings and codes from the Soviet period. The practical results justify the preservation of ornamentation as an element of heritage and identity, useful for urban planners and architects.

Keywords: semiotics, ornament, residential microdistricts, urban identity, urban memory, cultural codes, architectural symbols.

References

1. Privalova, V. M. (2010). Semantics of ornament in the semiotics of culture (anthropological projection of ritual in geometric ornament). *Izvestiya of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, (5-1).
2. Aukhadiyeva, L. M., & Karatseyeva, T. (2022). Architectural images and symbols of the regional identity of modern architecture in Kazakhstan. *Innovaciencia*, 10(1), 1–17. <https://doi.org/10.15649/2346075X.2960>
3. Abdrasilova, G. S., Danibekova, E. T., Tuyakayeva, A. K., & Syzdykova, A. S. (2024). Architecture of Almaty in the 20th century: In search of cultural identity. *KazGASA Bulletin*, (4)94. <https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.4-01>
4. Priemets, O. N., & Samoylov, K. I. (2019). *The development of ornament in the architecture of Almaty*. Almaty: Stroitelstvo i Arkhitektura Publishing House.
5. Samoylov, K. I. (2004). *Architecture of Kazakhstan in the 20th century (Development of architectural and artistic forms)*. Moscow–Almaty: M-ARI Design Publishing.
6. Khamedov, A. M. (2010). *Development of non-classical stylistics in the architecture of Almaty from the late 19th to early 21st century* (Author's abstract of Candidate of Architecture dissertation). Almaty.

Сведения об авторах:

Остапенко И.И. – доктор PhD, асс.проф. факультета Архитектуры, Международная Образовательная Корпорация (КазГАСА), ул. Рыскулбекова, 28, 050000, г. Алматы, Казахстан

Бектурганова К.Б. – магистрант факультета Архитектуры, Международная Образовательная Корпорация (КазГАСА), ул. Рыскулбекова, 28, 050000, г. Алматы, Казахстан

Дюсенова Д.Г. – магистр, ассистент профессора факультета Архитектуры, Международная Образовательная Корпорация (КазГАСА), ул. Рыскулбекова, 28, 050000, г. Алматы, Казахстан

Чекаева Р.У. – кандидат архитектуры, профессор кафедры «Архитектура», НАО «ЕНУ имени Л.Н. Гумилева», ул. Кажымукана 13, 010000, Астана, Казахстан

Есенбаев А.М. – автор для корреспонденции, докторант кафедры «Архитектуры и дизайна», НАО «КАТИУ имени С. Сейфуллина», ул.Бейбитшилик 73, 010000, Астана, Казахстан

Остапенко И.И. – PhD доктор, Сәулет факультетінің қауым.проф. Халықаралық Білім беру Корпорациясы (КазБСҚА), Рысқұлбеков к-сі, 28, 050000, Алматы қ., Қазақстан

Бектурганова К.Б. – Сәулет факультетінің магистранты, Халықаралық Білім беру Корпорациясы (КазБСҚА), Рысқұлбеков к-сі, 28, 050000, Алматы қ., Қазақстан

Дюсенова Д.Г. – магистр, Сәулет факультетінің профессор ассистенті, Халықаралық Білім беру Корпорациясы (КазБСҚА), Рысқұлбеков к-сі, 28, 050000, Алматы қ., Қазақстан

Чекаева Р.У. – сәулет кандидаты, «Сәулет» кафедрасының профессоры, «Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ» КеАҚ, Қажымұқан 13 көшесі, 010000, Астана, Қазақстан

Есенбаев А.М. – хат-хабар авторы, «Сәулет және дизайн» кафедрасының докторанты, «С.Сейфуллин атындағы ҚАТЗУ» КеАҚ, Бейбітшілік 73 көшесі, 010000, Астана, Қазақстан

Ostapenko I.I. – PhD, Associate Professor, Faculty of Architecture, IEC (campus KazLAACE), Ryskulbekov st., 28, 050000, Almaty, Kazakhstan

Bekturganova K.B. – master's student Faculty of Architecture, IEC (campus KazLAACE), Ryskulbekov st., 28, 050000, Almaty, Kazakhstan

Dyussenova D.G. – master, Assistant Professor Faculty of Architecture, IEC (campus KazLAACE), Ryskulbekov st., 28, 050000, Almaty, Kazakhstan

Chekaeva R.U. – candidate of architecture, professor of Department Architecture, «L.N. Gumilyov Eurasian National University» NSC, Kazhmukhan str. 13, 010000, Astana, Kazakhstan

Yessenbayev A.M. – corresponding author, PhD candidate, «Kazakh Agrotechnical research university named after S.Seifullin» NSC, Beibitshilik 73 str., 010000, Astana, Kazakhstan



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



XFTAP 89.57.35

Ғылыми мақала

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-151-2-209-221>

Қашықтықтан зондтау арқылы су тасқынының динамикалық өзгерістерін бақылау және талдау

Д.М. Киргизбаева¹ , Т.Б. Нурпеисова¹ , Н.С. Доненбаева² 
М.М. Абдиров¹ , М.Б. Нурпеисова¹ 

¹ Қ.И. Сәтпаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы, Қазақстан

² Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

E mail: donenbayeva_ns@enu.kz

Аңдатпа. Қашықтықтан зондтау (ҚЗ) әдісі қазіргі таңда табиғи апаттардың, соның ішінде су тасқыны секілді күрделі және жылдам өзгеретін құбылыстардың динамикасын бақылауда кеңінен қолданылатын заманауи әрі тиімді технологиялардың бірі болып отыр. Бұл әдіс жер үстіндегі өзгерістерді әртүрлі спектралды диапазонда, кеңістіктік және уақыттық өлшемде бақылай отырып, табиғи және антропогендік факторлардың қоршаған ортаға әсерін нақты әрі кешенді түрде бағалауға мүмкіндік береді. ҚЗ деректері арқылы мамандар су тасқынының даму барысын картаға түсіріп, апаттың әсерін болжау мен бағалау жұмыстарын жүйелі жүргізе алады. Зерттеу барысында Landsat 8 жерсерігінен алынған мультиспектралды түсірістер негізінде Құлсары қаласы аумағындағы су айдындарының динамикасы зерттелді. Аталған жерсерік арқылы алынған деректерді өңдеу нәтижесінде зерттелген аймақтағы су айнасының көлемі мен пішінінің уақыт бойынша өзгерістері талданды. Бұл өзгерістер, әсіресе көктемгі және күзгі мезгілдерде, жауын-шашын мен қардың еруіне байланысты күрт байқалады. Қашықтықтан зондтау технологиясы – су тасқыны секілді кең ауқымды, тез өзгеретін табиғи құбылыстарды бақылау мен бағалаудың сенімді және ғылыми негізделген әдісі болып келеді.

Түйін сөздер: Су тасқыны, су айнасы, Landsat 8 спутнигі, Құлсары қаласы, Earth Explorer.

Кіріспе

Су тасқыны Қазақстан үшін өзекті экологиялық және әлеуметтік-экономикалық мәселелердің бірі болып табылады. Елдің көптеген аймақтарында өзендер мен көлдерге бай болуымен қатар, көктем айларындағы қардың еруі, жаңбырлардың көп түсуі және климаттық өзгерістер су деңгейінің көтерілуіне алып келеді. Су тасқынының әсерінен Қазақстанның ауыл шаруашылығы, инфрақұрылымы мен экосистемалары айтарлықтай зардап шегуде. Су тасқыны егістік алқаптарын, жайылымдық жерлерді және ауыл шаруашылығы өнімдерін бүлдіреді, бұл азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етуге теріс әсер етеді. Сонымен қатар, тасқынның салдарынан тұрғын үйлер, көлік жолдары, көпірлер мен коммуналдық қызметтер зақымданып, халықтың әлеуметтік жағдайы нашарлайды. Су тасқыны экосистемаларды бұзып, табиғи ресурстарды жоғалтуға себепші болады, бұл экологиялық дағдарыстарға әкеп соғуы мүмкін. Осылайша, су тасқынының зардаптары Қазақстанның әлеуметтік, экономикалық және экологиялық салаларына кең ауқымды әсер етіп, оның алдын алу мен басқару мәселелері еліміздің тұрақты дамуы үшін аса маңызды болып отыр.

2024 жылы Қазақстанда соңғы бірнеше онжылдықтағы ең ірі су тасқыны орын алды. Табиғи апат елдің 10 облысын қамтып, төтенше жағдай жариялануына себеп болды. Су басқан аймақтардан 120 мыңнан астам адам эвакуацияланып, уақытша орналастыру орындарына жіберілді. Жағдай тек табиғи апат қана емес, әлеуметтік және экономикалық салдарлар да тудырды.

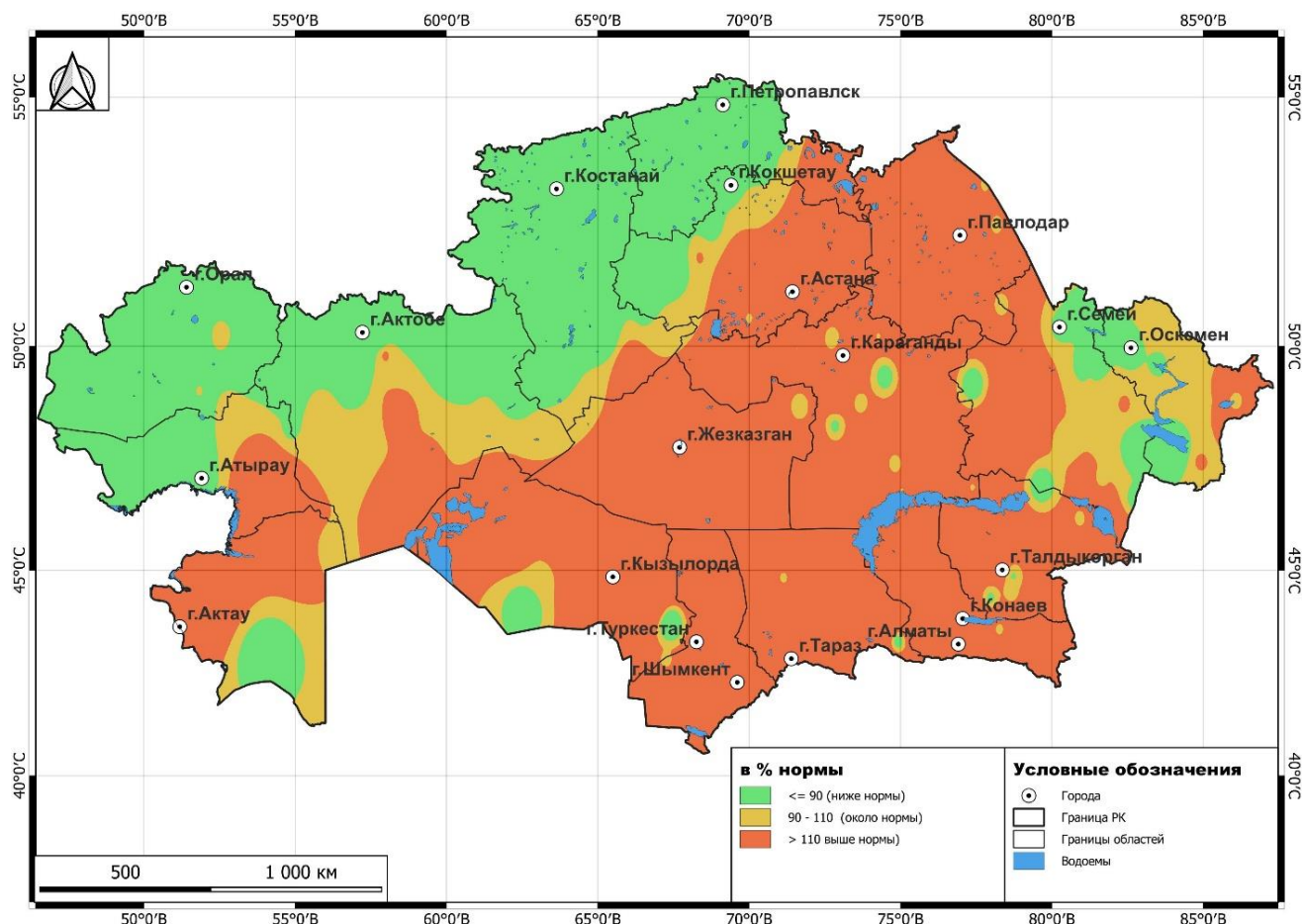
Су тасқынынан зардап шеккендерге көмек көрсету мақсатында Қазақстан үкіметі мен қоғамдық ұйымдар қаржылық қолдау көрсетіп, көптеген қалпына келтіру жұмыстарын бастады. «Қазақстан халқына» қоры су тасқынынан зардап шеккен аймақтарда жаңа тұрғын үйлер салу үшін 10 миллиард теңге бөлді. Сонымен қатар, шағын және орта бизнеске келтірілген шығындарды өтеу үшін арнайы өтемақы механизмдері бекітілді. Шаралар тұрғындардың өмір сапасын қалпына келтіріп, экономиканың тұрақтылығын қамтамасыз етуге бағытталды.

Су тасқынының себептері негізінен жауын-шашынның көп мөлшерде жаууы және қардың ерігіштігі болды. Ақтөбе, Атырау және Батыс Қазақстан облыстарында су деңгейі жоғарылап, өзендер мен көлдер арнасынан шықты. Өңірлерде көктемгі су тасқыны жыл сайын болып тұратын құбылыс болса да, 2024 жылғы жағдай өте ауыр болды. Су тасқынының әсерінен мыңдаған тұрғын үй мен ауылшаруашылық алқаптары зардап шекті. Ауыл шаруашылығы саласындағы дағдарыс көбейіп, егіс алқаптары мен мал шаруашылығының инфрақұрылымы бүлінді. Келесі суретте Қазақстан Республикасындағы 2024 жылғы көктемгі ылғалдандыру % қалыпта көрсетілген [1].

Әдіснама

Көктемгі ылғалдандыру % қалыпта деректері су тасқынын болжау мен алдын алу үшін өте маңызды болып табылады. Көрсеткіштер көктемгі мезгілде топырақтағы ылғал деңгейін анықтайды, ал ол өз кезегінде су тасқынының ықтималдығына әсер етеді. Егер көктемде топырақта ылғалдың көп болуы байқалса, бұл өзендердің, көлдердің және су қоймаларының су деңгейінің көтерілуіне себеп болып, су тасқынының қаупін арттыруы мүмкін.

Картада зерттелген Құлсары аймағы 110 қалыптан жоғары екенін көруге болады.

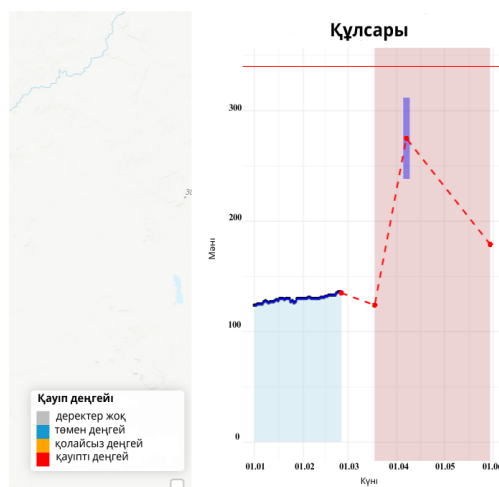


1 - сурет. Көктемгі ылғалдандыру % қалыпта

Топырақта ылғалдың жоғары болуы жаңбыр мен қардың еріген суының топыраққа сіңбеуіне, өзендер мен арналардың арнасынан асып кетуіне әкеліп соғады. Жағдай, әсіресе көктемде болған жағдайда, су тасқынының қаупін күшейтеді. Сондықтан, көктемгі ылғалдандыру деңгейін бақылау арқылы су тасқынының ықтималдықтарын болжауға және қажетті алдын алу шараларын уақытында қабылдауға болады.

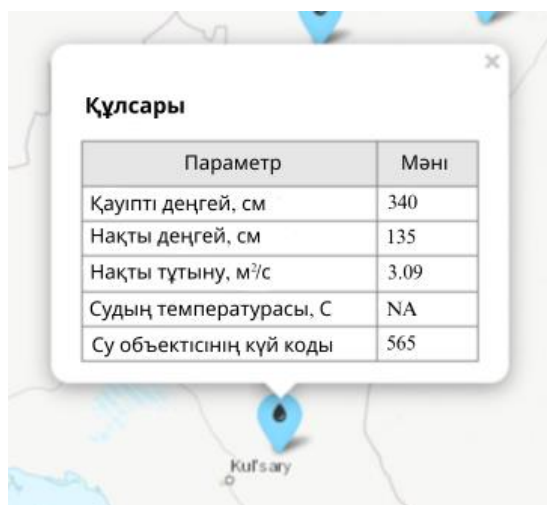
2024 жылдың көктемінде Құлсары қаласы су тасқынынан зардап шекті. Көктемгі қардың жылдам еруі мен жауын-шашынның көп түсуі Қамыскөл көлінің су деңгейінің көтеріліп, қала аумағында тасқынның пайда болуына себеп болды. Әсіресе наурыз және сәуір айларында қарқынды жауын-шашын мен қардың еруі су деңгейінің қатты көтерілуіне алып келді, нәтижесінде көлдің Құрсай су арнасынан асып шығып, тұрғын үйлер мен инфрақұрылымды су баса бастады. Келесі суреттерде Қазгидрометтен алынған Құлсарыдағы 2024 жылғы су тасқынының судың қауіпті деңгейге дейін жетуін көруге болады [2].

Диаграммада Құлсары қаласындағы су деңгейінің көтерілуі бейнеленген. Астынғы жағында әр айдың бірінші күні, ал сол жағында судың 0-300 см-ге дейінгі деңгейлері көрсетілген. Ең жоғарғы көрсеткіш сәуір айына келіп тұр, сол кезде су тасқының ең қауіпті деңгейге - 340 см. жетпесе де, нақты деңгей - 135 см-ден 250 см-ге дейін көтерілгенін байқауға болады.



2 - сурет. 2024 жылы Құлсары қаласындағы су тасқынының диаграммасы

Айтылғандай, су тасқынының ең қауіпті кезі сәуір айына келіп тұр. Құлсары қаласындағы су басу аймақтарын анық көру үшін, Earth Explorer сайтынан (бұл сайттың басты мақсаты — географиялық деректер мен ғарыштық бақылауларды онлайн режимде көру және жүктеу мүмкіндігін беру) Landsat 8 спутнигінің суреттерін алып, су айнасын жасауға болады [3].



3 - сурет. Құлсары қаласындағы су тасқынының параметрлері

Нәтижелер мен талқылау

Earth Explorer – бұл жерді зерттеуге арналған NASA-ның ғарыштық миссияларының бірі, оның мақсаты жердің экологиясын, климатын және табиғи ресурстарын бақылау. Бағдарлама ғарыш аппараттарының көмегімен жердегі экологиялық өзгерістерді, ауа райын, мұхиттар мен жер бедерін зерттейді. Миссияның басты міндеті – жердің жағдайы мен өзгерістерін мониторингтеу және ғылыми зерттеулерге қажетті деректер жинау.

Earth Explorer арқылы пайдаланушылар ғарыштық деректерді әртүрлі уақыт аралығында іздей алады, және көптеген ғарыштық зерттеулерден алынған мәліметтерді пайдалана алады. Сайтта жер серіктері мен аэрофотосуреттер, спутниктік бақылаулар, атмосфера мен топырақ жағдайлары туралы ақпараттар ұсынылады. Пайдаланушылар деректерді нақты географиялық координаттармен байланыстыра отырып іздеп, түрлі форматтарда деректерді жүктей алады.

Сайтта қолжетімді деректердің ішінде Landsat спутниктерінің суреттері, климаттық өзгерістер туралы мәліметтер, экосистемаларды зерттеу нәтижелері және басқа да көптеген ғарыштық деректер бар. Landsat 8 спутнигі жердің бетін бақылау және оның өзгерістерін талдау мақсатында үлкен маңызға ие. Оның басты артықшылығы — жоғары ажыратымдылықтағы суреттер мен мәліметтер алу мүмкіндігі. Бұл спутник 15 күнде бір рет жердің барлық аймағын толықтай суретке түсіріп, әртүрлі спектрлердегі мәліметтерді жинайды. Landsat 8-дің ажыратымдылығы 30 метрге дейін, бұл оның өте нақты әрі нақты жер бетінің карталарын жасауға мүмкіндік береді.

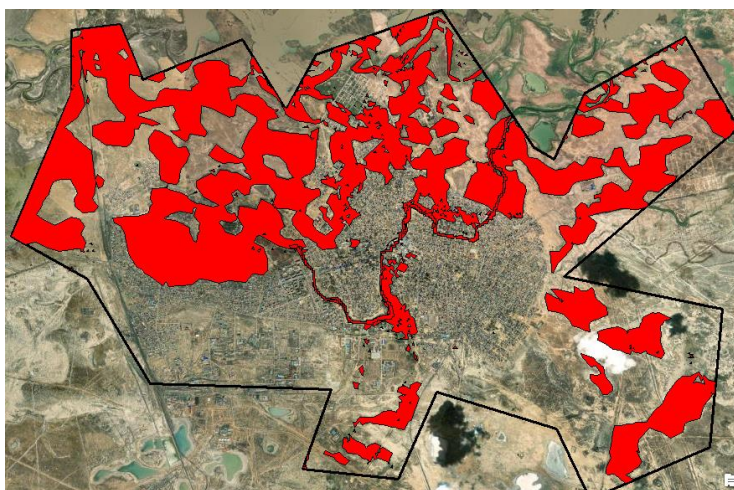
Landsat 8 спутнигі деректерді ашық түрде жариялайтындықтан, олар әлемдегі ғалымдар мен зерттеушілер үшін өте құнды ресурс болып табылады. Су тасқындары, орман өрттері, жер сілкіністері сияқты табиғи апаттардан кейін алынған деректер осы оқиғалардың салдарын бағалау үшін қолданылуы мүмкін.

Landsat 8 спутнигінің суреттерін пайдалана отырып, Құлсары қаласындағы су объектілеріне су айнасын жасау су ресурстарын тиімді басқару және экологиялық мониторинг жүргізу үшін маңызды құрал болып табылады. Су айнасы — бұл су бетінің немесе су объектілерінің нақты уақыттағы жағдайын көрсететін графикалық немесе картографиялық бейне. Ол су аймақтарының кеңістіктік орналасуын, көлемін және уақыт бойынша өзгерістерін бақылауға мүмкіндік береді.

Су айнасы арқылы жүргізілген экологиялық мониторинг су ресурстарын тиімді басқару үшін қажетті маңызды деректерді береді. Мысалы, су сапасының нашарлауы немесе су деңгейінің өзгеруі туралы ақпарат экологиялық жағдайды алдын ала болжауға мүмкіндік береді. Деректер табиғи апаттардың алдын алу, су тапшылығын болдырмау және экосистемалардың тұрақтылығын сақтау үшін өте қажет. Сонымен қатар, су айнасы экологиялық таза және тұрақты даму бағытындағы саясаттарды жүзеге асыру үшін қажетті құрал болып табылады [4].

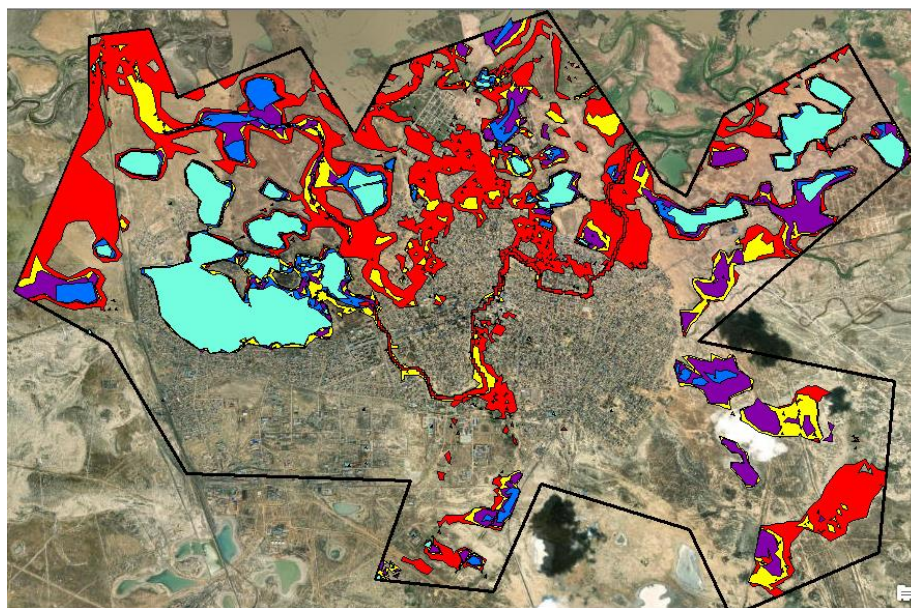
Су айнасы арқылы су ресурстарын бақылау және басқаруды жақсартуға болады. Су объектілерінің өзгерістерін дәл қадағалауға мүмкіндік беретін бұл құрал су тасқыны немесе құрғақшылық жағдайларында су қорларын тиімді пайдалану туралы шешімдер қабылдауға көмек береді. Келесі суреттерде Құлсары қаласының су айнасын көруге болады.

Атрибуттық кестеде әрбір жол бір географиялық объектіге сәйкес келеді, ал әрбір баған объектінің белгілі бір сипаттамасын немесе атрибутын білдіреді. Мысалы, жер учаскелері үшін атрибуттық кестеде олардың аты, иесі, аудан көлемі, пайдалану түрі сияқты мәліметтер болуы мүмкін. Атрибуттар географиялық объектілермен байланысты болғандықтан, оларды картада көрсетілген деректермен салыстырып, кеңістіктегі паттерндерді зерттеу мүмкіндігі туады [5].



4 - сурет. Құлсары қаласының 2024 жылғы сәуір айының су айнасы

Бесінші суретте көрсетілген су айнасынан сәуір (қызыл), мамыр (сары), маусым (күлгін), шілде (көк), тамыз (көгілдір) айларындағы су көлемін көруге болады. Әсіресе сәуір мен тамыз айларындары айырмашылық өте үлкен.



5- сурет. Құлсары қаласының 2024 ж. көктем мен жаз айларының су айнасы

ArcGIS бағдарламасындағы атрибуттық кесте – бұл географиялық ақпараттық жүйенің (GIS) маңызды компоненті, ол географиялық объектілерге қатысты мәліметтерді сақтайды. Атрибуттық кесте әрбір географиялық элементке, мысалы, нүкте, сызық немесе полигонға қатысты қосымша ақпаратты береді. Кестеде объектілердің сипаттамалары, параметрлері және басқа да маңызды деректер сақталады, олар арқылы кеңістіктегі ақпараттарды талдау мен басқару оңайлайды.

ArcGIS бағдарламасында атрибуттық кесте деректерді визуализациялау, сұрыптау, сүзгілеу, және өңдеу үшін қолданылуы мүмкін. Кестеде мәліметтерді сұрыптау арқылы белгілі бір критерийлерге сай деректерді іздеу немесе сол деректерді өңдеу оңай жүзеге асырылады. Сонымен қатар, атрибуттық кесте арқылы кеңістікке қатысты мәліметтерді талдап, карталар мен диаграммалар жасауға болады.

Атрибуттық кесте географиялық деректермен жұмыс істегенде ақпаратты тиімді және жүйелі түрде сақтауға мүмкіндік береді. ArcGIS бағдарламасында атрибуттарды өңдеу мен талдау жасау үшін түрлі құралдар мен функциялар бар. Атрибуттық кестелер арқылы деректерді тиімді түрде өңдеп, талдап, оны кеңістіктік ақпаратпен байланыстыруға болады, әсіресе картографиялық және экологиялық зерттеулер үшін өте пайдалы. Келесі суреттерде сәуір мен тамыз айларындағы су көлемін атрибуттық кестеден көруге болады.

Таблица

Сәуір

FID	Shape *	OBJECTID	Id	gridcode	Shape_Leng	Shape_Area
0	Полигон	10	10	1	2946.813642	260712.236162
1	Полигон	13	13	1	113.186599	616.202162
2	Полигон	17	17	1	113.186599	616.202162
3	Полигон	18	18	1	113.186599	616.202162
4	Полигон	19	19	1	414.636737	7681.334968
5	Полигон	20	20	1	113.186599	616.202162
6	Полигон	21	21	1	386.139986	8710.356496
7	Полигон	22	22	1	113.186599	616.202162
8	Полигон	24	24	1	213.012932	2132.219299
9	Полигон	27	27	1	113.186599	616.202162
10	Полигон	28	28	1	170.211592	1214.859858
11	Полигон	33	33	1	1095.672982	33286.798822
12	Полигон	34	34	1	527.775747	14098.052034
13	Полигон	35	35	1	279.367857	4475.218559
14	Полигон	36	36	1	998.080239	44798.598849
15	Полигон	38	38	1	113.186599	616.202162
16	Полигон	39	39	1	112.494012	576.342773
17	Полигон	40	40	1	291.942371	3542.810169
18	Полигон	41	41	1	113.186599	616.202162
19	Полигон	42	42	1	295.503135	1978.520966
20	Полигон	44	44	1	113.186599	616.19144
21	Полигон	45	45	1	1527.140274	53899.536573
22	Полигон	48	48	1	263.007293	3038.228524
23	Полигон	50	50	1	979.341979	50509.735441
24	Полигон	54	54	1	308.518654	3994.467309
25	Полигон	55	55	1	224.280204	2418.217101

(0 из 165 Выбранные)

6 - сурет. Сәуір айының атрибуттық кестесінің көрінісі

Таблица

Тамыз

FID	Shape *	OBJECTID	Id	gridcode	Shape_Leng	Shape_Area
0	Полигон	1	1	1	267.200368	2761.628782
1	Полигон	2	2	1	113.186599	616.19144
2	Полигон	3	3	1	316.002855	5224.638254
3	Полигон	4	4	1	169.766015	1228.867099
4	Полигон	5	5	1	227.810663	1857.775753
5	Полигон	6	6	1	113.186599	616.19144
6	Полигон	7	7	1	120	900
7	Полигон	8	8	1	113.186599	616.19144
8	Полигон	9	9	1	113.186599	616.202162
9	Полигон	10	10	1	714.343847	15958.506749
10	Полигон	11	11	1	113.186599	616.202162
11	Полигон	12	12	1	711.431527	21622.18674
12	Полигон	13	13	1	113.186599	616.19144
13	Полигон	14	14	1	113.186599	616.19144
14	Полигон	15	15	1	228.816453	1803.886454
15	Полигон	16	16	1	169.765745	1228.86418
16	Полигон	17	17	1	170.212009	1214.867521
17	Полигон	18	18	1	180	1800
18	Полигон	19	19	1	180	1800
19	Полигон	20	20	1	227.810442	1857.773444
20	Полигон	21	21	1	348.881157	3087.148462
21	Полигон	22	22	1	113.186599	616.19144
22	Полигон	23	23	1	348.881157	3087.152649
23	Полигон	24	24	1	113.186599	616.19144
24	Полигон	25	25	1	227.810442	1857.773444
25	Полигон	26	26	1	348.881157	3087.152648
26	Полигон	27	27	1	113.186599	616.19144
27	Полигон	28	28	1	170.212009	1214.867521
28	Полигон	29	29	1	113.186599	616.19144
29	Полигон	30	30	1	113.186599	616.19144
30	Полигон	31	31	1	113.186599	616.19144

(0 из 104 Выбранные)

7 - сурет. Тамыз айының атрибуттық кестесінің көрінісі

К166

	A	B	C
157	616.20	616.20	0.00
158	4320.15	2132.22	2187.93
159	900.00	616.19	283.81
160	65431.72	616.20	64815.52
161	616.21	616.20	0.01
162	293340.08	616.20	292723.88
163	4916.04	616.20	4299.84
164	1800.00	7996.62	(6196.62)
165	1228.85	576.35	652.50
166	1857328.93	3600.00	1853728.93
167	35076738.83	7156688.79	27920050.03
168			
169			

8- сурет. Құлсары қаласындағы су деңгейінің көтерілуінің мөлшері

6,7,8 суреттерде Құлсары қаласындағы су тасқынының ең қауіпті деңгейіндегі су көлемі мен құрғап, нормасына келген кездегі су көлемі көрсетілген. Осы деректер арқылы Құлсары қаласындағы су деңгейінің көтерілуінің мөлшері - 27 920 050м³.

Атрибуттық кестедегі деректерді қолдана отырып, су тасқынының көлемін есептеуге болады. Келесі суретте Excel бағдарламасын қолдана отырып жүргізілген есептер нәтижесін көруге болады [6].

Қорытынды

Қорытындылай келгенде, су айнасы ғылыми зерттеулер мен жоспарлау үшін де маңызды құрал болатынын көреміз. Ол су объектілерінің уақыт бойынша өзгерістерін зерттеп, климаттық өзгерістердің әсерін бағалауға мүмкіндік береді. Зерттеулер су ресурстарын болашақта тиімді басқару, қалалық аумақтарды жоспарлау және экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз ету үшін қажет. Су тасқыны кезінде су айнасы су деңгейінің көтерілу ауқымын анықтап, эвакуация жұмыстары мен апаттық шараларды тиімді ұйымдастыруға мүмкіндік береді. Жасалған жұмыс құтқарушыларға және жергілікті билікке тасқынның әсер ету аймағын нақты білуге көмектеседі.

Құлсары қаласындағы су объектілеріне су айнасы жасау Landsat 8 спутнигі арқылы алынған деректерді тиімді пайдалану үшін маңызды қадам болып табылады. Су айнасы су ресурстарын бақылауға, экологиялық жағдайды талдауға, апаттық жағдайларды басқаруға және ғылыми зерттеулер жүргізуге мүмкіндік береді. Жасалған жұмыс қаладағы су жүйелерін тиімді басқаруға, табиғи апаттардың зардаптарын азайтуға және экологиялық тұрақтылықты сақтауға ықпал етеді. Су айнасы, сонымен қатар, жергілікті экосистемаларды қорғауға, ауыл шаруашылығында су ресурстарын үнемді пайдалануға және су объектілерінің өзгерістерін дер кезінде бақылауға мүмкіндік береді. Айтылған жүйе Құлсары қаласындағы су қауіпсіздігін қамтамасыз ету және су ресурстарын тиімді басқару үшін маңызды құрал болып табылады.

Авторлардың қосқан үлесі

Д.М. Киргизбаева – зерттеу жұмысының жалпы идеясын ұсынды және оның ғылыми-әдістемелік негізін қалады. Қашықтықтан зондтау әдісін экологиялық және табиғи апаттар мониторингіне қолданудың тиімділігін негіздеп, зерттеу тұжырымдамасын әзірледі. «Кіріспе» және «Қорытынды» бөлімдерін жазып, мақаланың толық құрылымын қалыптастыруға жетекшілік етті. Жариялауға ұсынылатын соңғы нұсқаны мақұлдап, зерттеу деректерінің дұрыстығына толық жауапкершілік алды.

Т.Б. Нурпеисова – Landsat 8 спутнигінің деректері негізінде су айнасын құру жұмыстарын жүзеге асырды. Спутниктік суреттерді ArcGIS платформасында өңдеу, географиялық қабаттарды визуализациялау және атрибуттық кестелермен жұмыс істеу бойынша негізгі жұмыстарды атқарды. Сонымен қатар «Әдіснама» бөлімінің жазылуына тікелей атсалысты. Н.С. Доненбаева – су айнасының маусымдық өзгерістерін сараптап, экожүйеге тигізетін әсерін бағалауға арналған талдаулар жүргізді. Құлсары қаласындағы су қауіпсіздігіне байланысты тәуекел факторларын анықтауға бағытталған аналитикалық жұмыстарды атқарды. «Нәтижелер мен талқылау» бөлімін дайындауға белсенді қатысты.

М.Б. Нурпеисова – алынған деректер негізінде сандық талдаулар жүргізіп, Excel бағдарламасында су деңгейінің көтерілу көлемін есептеді. Графикалық материалдар, диаграммалар мен салыстырмалы кестелерді әзірлеумен айналысты. Жұмыстың визуалды мазмұнын біріздендіру мен нәтижелерді интерпретациялауға үлес қосты.

М.М. Абдилов – мақаланың мәтіндік мазмұнын редакциялау және стилистикалық түзету жұмыстарын жүргізді. Әдебиеттер тізімін жинақтап, сілтемелерді рәсімдеуді қамтамасыз етті. Мақаланың ғылыми стиліне сәйкестігін қадағалап, барлық бөлімдердің логикалық тұтастығын сақтауға жауапты болды.

Барлық авторлар мақаланың мазмұнына толықтай келісім береді және оның барлық бөліктерінің ғылыми сенімділігі мен дәлдігіне бірдей жауапкершілік арқалайды. Олар зерттеудің кез келген аспектісі бойынша туындауы мүмкін сұрақтарды шешуге дайын екенін растайды.

Әдебиеттер тізімі

1. Қазгидромет сайты: http://ecodata.kz:3838/app_dg_map_ru/
2. Керімбай, Н. Н. Жерді қашықтықтан зондылауды геоақпараттық технологиялар әдістерімен талдау: оқу құралы / Н. Н. Керімбай, Б. С. Керімбай. — Алматы : Дарын, 2023. — 310 с.
3. Чепашев Д. В., Акжаркынова А. Н., Калыбаева А. К., Исклиева Г. М. Оценка уровненного режима при половодье реки Жайык с применением данных дистанционного зондирования Земли // Вестн. Алматинского ун-та энергетики и связи. 2024. Т. 3. № 66. С. 118–128. DOI: 10.51775/2790-0886_2024_66_3_118.
4. Терехов А. Г., Саиров С. Б., Абаев Н. Н. и др. О возможных причинах исключительно больших весенних паводков 2024 года в Казахстане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 3. С. 331–338. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-331-338.
5. Лю, ЦзяньГо и Мейсон, Филиппа Дж. (2009). Необходимая обработка изображений для ГИС и дистанционного зондирования. Уайли-Блэквелл. стр. 4. ISBN 978-0-470-51032-2.
6. Терехов А. Г., Саиров С. Б., Абаев Н. Н. и др. О возможных причинах исключительно больших весенних паводков 2024 года в Казахстане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 3. С. 331–338. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-331-338.
7. Шовенгердт, Р. А. Дистанционное зондирование. Моделии методы обработки изображений / Р. А. Шовенгердт. – М. : Техно-сфера, 2010. – 560 с.
8. Базарбаева С. Системы и технологии для дистанционного зондирования земли / С. Базарбаева, Т.К. Куатбаева // Наука и инновационные технологии. – 2024. – № 2 (31). – С. 88-95.
9. Кадочников А.А. Опыт создания централизованного каталога данных дистанционного зондирования земли с российских спутников // Геоинформатика. – 2022. – № 4. – С. 36-43.
10. Коновалов И.В. Улучшение системы дистанционного зондирования земли на основе математического моделирования / И.В. Коновалов, А.П. Татарчук // Исследования молодых ученых для развития АПК. Сборник тезисов. Уральский государственный аграрный университет, 2023. – С. 151-153.
11. Павлова Л.Г. Мониторинг паводков на основе дистанционного зондирования земли / Л.Г. Павлова, Д.А. Шаймарданов, А.Ф. Атнабаев // Бюллетень науки и практики. – 2024. – Т. 10, № 7. – С. 82-85.
12. Парубчишин Е.А. Разработка программного обеспечения для дистанционного зондирования земли / Е.А. Парубчишин, А.А. Кучейко // К.Э. Циолковский: ключевые

- идеи и современные достижения космонавтики. Материалы 59-х Научных чтений, посвященных ОБЩЕСТВО, № 1(36) 2025 разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. – Калуга, 2024. – С. 299-302.
13. Федичкина В.П. Исследование способов мониторинга состояния земель с помощью дистанционного зондирования // Молодой исследователь Дона. – 2024. – Т. 9, № 6(51). – С. 32-35.
14. Архипкин О. П., Сагатдинова Г. Н., Бралинова Ж. А. Оценка потенциального развития паводков на основе анализа многолетних временных рядов ДДЗ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. №4. С. 127-136.
15. Брыжко И. В., Четин А. А. Геоинформационное моделирование, прогнозирование и мониторинг зон наводнений и затоплений // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. 2023. С. 262-266.

**Д.М. Киргизбаева¹, Т.Б. Нурпеисова¹, Н.С. Доненбаева²,
М.М. Абдиров¹, М.Б. Нурпеисова¹**

*¹Казахский национальный исследовательский технический
университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан*

*²Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,
Астана, Казахстан*

Мониторинг и анализ динамических изменений наводнений с использованием дистанционного зондирования

Аннотация. Метод дистанционного зондирования (ДЗ) в настоящее время является одной из современных и эффективных технологий, широко применяемых для наблюдения за динамикой природных катастроф, в том числе таких сложных и быстро меняющихся явлений, как наводнения. Этот метод позволяет отслеживать изменения на земной поверхности в различных спектральных диапазонах, а также в пространственном и временном измерениях, что даёт возможность комплексно и точно оценивать воздействие как природных, так и антропогенных факторов на окружающую среду.

С помощью данных дистанционного зондирования специалисты могут картографировать процесс развития наводнения, а также системно проводить прогнозирование и оценку последствий катастрофы. В ходе исследования на основе мультиспектральных снимков, полученных со спутника Landsat 8, была изучена динамика водных объектов в районе города Кульсары. В результате обработки данных, полученных со спутника, были проанализированы изменения площади и формы водного зеркала в исследуемом районе с течением времени. Эти изменения особенно ярко выражены в весенний и осенний периоды, что связано с осадками и таянием снега. Технология дистанционного зондирования представляет собой надёжный и научно обоснованный метод для наблюдения и оценки таких масштабных и быстро развивающихся природных явлений, как наводнения.

Ключевые слова: наводнение, водная поверхность, спутник Landsat 8, город Құлсары,

Earth Explorer.

**D.M. Kirgizbayeva¹, T.B. Nurpeisova¹, N.S. Donenbayeva², M.M. Abdirov¹,
M.B. Nurpeisova¹**

*¹Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev
Almaty, Kazakhstan*

²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Monitoring and analysis of dynamic changes in flooding through remote sensing

Abstract. Remote sensing (RS) is currently one of the most modern and effective technologies widely used for monitoring the dynamics of natural disasters, including complex and rapidly changing phenomena such as floods. This method allows for the observation of changes on the Earth's surface across various spectral ranges, as well as in spatial and temporal dimensions, enabling comprehensive and accurate assessment of the impact of both natural and anthropogenic factors on the environment. Using remote sensing data, specialists can map the development process of a flood and systematically carry out forecasting and assessment of the disaster's consequences. In this study, the dynamics of water bodies in the area of the city of Kulsary were investigated based on multispectral imagery obtained from the Landsat 8 satellite. As a result of processing the satellite data, changes in the area and shape of the water surface in the study region over time were analyzed. These changes are particularly pronounced during the spring and autumn periods, which is associated with precipitation and snowmelt. Remote sensing technology is a reliable and scientifically grounded method for observing and assessing large-scale and rapidly evolving natural phenomena such as floods.

Keywords: flood, water surface, Landsat 8 satellite, city of Kulsary, Earth Explorer.

References

1. Қазгидромет сайты: http://ecodata.kz:3838/app_dg_map_ru/
2. Kerimbaj, N. N. Zherdi қашықтықтан зондтауды геоақпараттық технологиялар әдістерімен талдау: оқу қыралы / N. N. Kerimbaj, B. S. Kerimbaj. — Almaty : Daryn, 2023. — 310 с.
3. Chepashev D. V., Akzharkynova A. N., Kalybaeva A. K., Isklieva G. M. Ocenka urovnenno go rezhima pri polovod'e reki Zhajyk s primeneniem dannyh distancionnogo zondirovani ja Zemli // Vestn. Almatinskogo un-ta jenergetiki i svjazi. 2024. T. 3. № 66. S. 118–128. DOI: 10.51775/2790-0886_2024_66_3_118.
4. Terehov A. G., Sairov S. B., Abaev N. N. i dr. O vozmozhn yh prichinah iskljuchitel'no bol'shi h vesennih pavodkov 2024 goda v Kazahstane // Sovremenn y e problemy distancionnogo zondirovani ja Zemli iz kosmosa. 2024. T. 21. № 3. S. 331–338. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-331-338.
5. Lju, Czjan'Go i Mejson, Filippa Dzh. (2009). Neobhodimaja obrabotka izobrazhenij dlja GIS i distancionnogo zondirovani ja. Uajli-Bljekvell. str. 4. ISBN 978-0-470-51032-2.

6. Terehov A. G., Sairov S. B., Abaev N. N. i dr. O vozmozhnyh prichinah iskljuchitel'no bol'shih vesennyh pavodkov 2024 goda v Kazahstane // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2024. T. 21. № 3. S. 331–338. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-331-338.
7. Shovengerdt, R. A. Distancionnoe zondirovanie. Modelii metody obrabotki izobrazhenij / R. A. Shovengerdt. – M. : Tehno-sfera, 2010. – 560 s.
8. Bazarbaeva S. Sistemy i tehnologii dlja distancionnogo zondirovaniya zemli / S. Bazarbaeva, T.K. Kuatbaeva // Nauka i innovacionnye tehnologii. – 2024. – № 2 (31). – S. 88-95.
9. Kadochnikov A.A. Opyt sozdaniya centralizovannogo kataloga dannyh distancionnogo zondirovaniya zemli s rossijskih sputnikov // Geoinformatika. – 2022. – № 4. – S. 36-43.
10. Konovalov I.V. Uluchshenie sistemy distancionnogo zondirovaniya zemli na osnove matematicheskogo modelirovaniya / I.V. Konovalov, A.P. Tatarchuk // Issledovaniya molodyh uchenyh dlja razvitiya APK. Sbornik tezisov. Ural'skij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2023. – S. 151-153.
11. Pavlova L.G. Monitoring pavodkov na osnove distancionnogo zondirovaniya zemli / L.G. Pavlova, D.A. Shajmardanov, A.F. Atnabaev // Bjulleten' nauki i praktiki. – 2024. – T. 10, № 7. – S. 82-85.
12. Parubchishin E.A. Razrabotka programmogo obespecheniya dlja distancionnogo zondirovaniya zemli / E.A. Parubchishin, A.A. Kuchejko // K.Je. Ciolkovskij: kljuchevyje idei i sovremennye dostizheniya kosmonavтики. Materialy 59-h Nauchnyh chtenij, posvjashhennyh OBShhESTVO, № 1(36) 2025 razrabotke nauchnogo nasledija i razvitiyu idej K.Je. Ciolkovskogo. – Kaluga, 2024. – S. 299-302.
13. Fedichkina V.P. Issledovanie sposobov monitoringa sostojaniya zemel' s pomoshh'ju distancionnogo zondirovaniya // Molodoj issledovatel' Dona. – 2024. – T. 9, № 6(51). – S. 32-35.
14. Arhipkin O. P., Sagatdinova G. N., Bralinova Zh. A. Ocenka potencial'nogo razvitiya pavodkov na osnove analiza mnogoletnih vremennyh rjadov DDZ // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2014. T. 11. №4. S. 127-136.
15. Bryzhko I. V., Chetin A. A. Geoinformacionnoe modelirovanie, prognozirovanie i monitoring zon navodnenij i zatopenij // Regional'nye aspekty razvitiya nauki i obrazovaniya v oblasti arhitektury, stroitel'stva, zemleustrojstva i kadaстров v nachale III tysjacheletija. 2023. S. 262-266.

Авторлар туралы мәлімет:

Қырғызбаева Д.М. - PhD докторы, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының асс. профессоры, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, 050013, Алматы қ., Сәтпаев көшесі 22а, Қазақстан Республикасы

Нурпеисова Т.Б. – Техника ғылымдарының кандидаты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының профессоры, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, 050013, Алматы қ., Сәтпаев көшесі 22а, Қазақстан Республикасы

Доненбаева Н.С. – Ph.D доктор, «Геодезия және картография» кафедрасының аға оқытушысы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 010000, Астана қ., Сәтпаев көшесі 2, Қазақстан Республикасы

Абдилов М.М. – «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының магистранты, Қ.И.

Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, 050013, Алматы қ.,
Сәтпаев көшесі 22а, Қазақстан Республикасы
Нурпеисова М.Б. – «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының т.ғ.д., профессор, Қ.И.
Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, 050013, Алматы қ.,
Сәтпаев көшесі 22а, Қазақстан Республикасы

Киргизбаева Д.М. - доктор Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, 050013, г. Алматы, Сатпаева 22а, Республика Казахстан
Нурпеисова Т.Б. – Кандидат технических наук, профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, 050013, г. Алматы, Сатпаева 22а, Республика Казахстан
Доненбаева Н.С. – доктор Ph.D, старший преподаватель кафедры «Геодезия и картография», (<https://orcid.org/0000-0003-1530-0746>), Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, 010000, г. Астана, Сатпаева 2, Республика Казахстан, donenbayeva_ns@enu.kz
Абдиров М.М. – магистрант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Казахского Национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан
Нурпеисова М.Б. – д.т.н., профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, 050013, г. Алматы, Сатпаева 22а, Республика Казахстан

Kirgizbaeva D.M., doctor PhD, Associate Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayeva, 22a Satpayev str., Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan
Nurpeissova T. – Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayeva, 050013, Almaty, Satpayeva 22a, Republic of Kazakhstan
Donenbayeva N.S. – Ph.D., Senior Lecturer of the Department of «Geodesy and Cartography», L.N. Gumilyov Eurasian National University, 010000, Satpayev Street 2, Astana, Republic of Kazakhstan
Abdirov M.M. – master's student of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayeva, 050013, Almaty, Satpayeva 22a, Republic of Kazakhstan
Nurpeisova M.B. – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Mine Surveying and Geodesy», Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayeva 050013, Satpayev Street 22a, Almaty, Republic of Kazakhstan



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 55.39.43

Научная статья

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-151-2-222-236>

Повышение эффективности работы системы охлаждения гидравлического привода транспортной техники, работающей в критических условиях

С.Р. Турсынбекова^{1*} , Б.Д. Сулеев² , Г.Е. Сиргетаева¹ , А. Забиева¹ 
А.М. Искакова³ 

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана

²Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда

³ТОО «Қарағандыэнерго саласы», Караганда

E mail: sayaramazanovna22@gmail.com

Аннотация. В данной статье рассматриваются конструктивные особенности машины для обработки колошника, а также предлагается комбинированная система охлаждения гидравлического привода, сочетающая воздушное, жидкостное охлаждение и использование хладагента R134a. Основное внимание уделено анализу существующих систем охлаждения, разработке новой конструкции и оценке ее эффективности. Предложенная система охлаждения направлена на повышение надежности и долговечности оборудования, снижение энергозатрат и улучшение экологических показателей. Исследование посвящено разработке и оптимизации системы охлаждения гидравлического привода машины для обработки колошника в металлургии. Актуальность темы обусловлена необходимостью повышения эффективности и надежности работы оборудования в условиях высоких температур и интенсивных нагрузок, характерных для металлургического производства.

Ключевые слова: машина для обработки колошника, гидравлический привод, система охлаждения, воздушный радиатор, жидкостный радиатор.

Введение

Цель исследования заключается в разработке комбинированной системы охлаждения, сочетающей воздушное, жидкостное охлаждение и использование хладагента R134a для обеспечения стабильной работы гидравлического привода. Основные направления исследования включают анализ существующих систем охлаждения, разработку новой конструкции и расчет параметров для эффективного теплообмена.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности работы металлургического оборудования в условиях растущих требований к производительности и экологической безопасности. Результаты работы могут быть использованы для модернизации существующих систем охлаждения и разработки новых решений, направленных на оптимизацию процессов в металлургической промышленности.

Научная значимость исследования заключается в разработке инновационного подхода к охлаждению гидравлических систем, что расширяет теоретические знания в области теплообмена и гидравлики. Практическая ценность работы проявляется в повышении надежности и долговечности оборудования, снижении энергозатрат и улучшении экологических показателей за счет использования экологически безопасного хладагента.

Методология

Машина для обработки колошника в металлургии представляет собой важное специализированное оборудование, используемое для обеспечения эффективной работы доменных печей. Колошник, как верхняя часть доменной печи, играет ключевую роль в процессе загрузки шихтовых материалов и отвода колошниковых газов. Его правильное функционирование напрямую влияет на производительность и безопасность всего металлургического процесса. В условиях высоких температур и интенсивных нагрузок, характерных для металлургического производства, надежность и эффективность оборудования становятся критически важными.

Основной функцией машины для обработки колошника является поддержание герметичности рабочего пространства печи, обеспечение равномерной загрузки шихтовых материалов и управление процессом разгрузки расплава. Современные конструкции таких машин включают в себя сложные механизмы, такие как двухконусные загрузочные устройства и вращающиеся желоба, которые позволяют оптимизировать процесс подачи материалов и минимизировать неравномерность распределения шихты. Кроме того, в процессе доменной плавки образуется колошниковый газ, который используется как топливо, а также колошниковая пыль, которая улавливается и повторно применяется в производстве.

Одной из ключевых проблем, связанных с эксплуатацией машин для обработки колошника, является обеспечение стабильной работы гидравлического привода в условиях высоких температур и интенсивных нагрузок. Гидравлический привод,

отвечающий за подъем и опускание колошника, подвергается значительным тепловым воздействиям, что может привести к перегреву и снижению эффективности работы оборудования. В связи с этим возникает необходимость разработки эффективной системы охлаждения, способной обеспечить стабильную работу гидравлического привода в тяжелых условиях эксплуатации. Машина для обработки колошника в металлургии представляет собой специализированное оборудование, используемое для обработки колошников или заготовок в процессе металлургического производства. Общий вид машины представлен на рисунке 1.



Рисунок 1. Общий вид машины

Колошник - это верхняя часть доменной печи, через которую осуществляется загрузка шихтовых материалов и отвод доменного или колошникового газа. Основной частью колошниковой конструкции является засыпной аппарат. На большинстве доменных печей установлены двухконусные загрузочные устройства. В обычном положении оба конуса закрыты и надежно изолируют внутреннее пространство печи от атмосферы. После загрузки шихты в приемную воронку малый конус опускается, и шихта падает на большой конус. Малый конус закрывается. После того, как на большом конусе будет набрано заданное количество шихты, большой конус опускается при закрытом малом конусе, и шихта высыпается в печь. После этого большой конус закрывается. Таким образом, рабочее пространство доменной печи постоянно герметизировано.

Шихтовые материалы обычно подаются на колошник печи с одной стороны. В результате, в воронке малого конуса образуется откос. Длительная работа доменной печи с перекосом уровня шихты недопустима. Для устранения этого явления приемная воронка и малый конус сделаны вращающимися. После загрузки шихты воронка вместе с конусом поворачивается на угол кратный 60, благодаря чему после разгрузки нескольких подач неравномерность полностью устраняется.

На современных печах могут устанавливаться более сложные по конструкции засыпные аппараты. Вместо большого конуса устанавливается вращающийся желоб, угол наклона которого может регулироваться. Такая конструкция позволяет изменять

место подачи материалов по диаметру колошника.

В процессе доменной плавки образуется большое количество газа, который отводится из колошниковой части печи. Такой газ называют колошниковым. Газ содержит горючие составляющие CO и H₂ и, поэтому, используется как газообразное топливо в металлургическом производстве. Кроме того, проходя через столб шихты, газ захватывает мелкие частицы железосодержащих материалов, образуя так называемую колошниковую пыль. Пыль улавливается в специальных газоочистителях и используется как добавка к шихте при агломерации или получении окатышей.

Обработка в печи: внутри печи руда подвергается термической обработке при высоких температурах. Это может включать в себя процессы плавления, варки или другие тепловые реакции, необходимые для извлечения металлов из руды и превращения их в металлический расплав. Машина для обработки колошника может быть вовлечена в поддержание определенной конфигурации колошника внутри печи для оптимизации процесса обработки.

Разгрузка печи: после завершения обработки руда превращается в расплав, который затем нужно извлечь из печи. Машина для обработки колошника может использоваться для управления процессом извлечения колошника из печи и его перемещения на следующий этап производственного процесса.

Очистка и обслуживание: после завершения цикла обработки руды в печи машина для обработки колошника может также использоваться для очистки печи от остатков руды или металлических отложений и для обслуживания печи перед следующим циклом.

В целом, машина для обработки колошника рудно-термической печи играет важную роль в обеспечении эффективного и безопасного процесса обработки руды и извлечения металлических компонентов.

Машина для обработки колошника печи в металлургии может иметь различные конструктивные особенности, в зависимости от типа печи и требований процесса. Однако, в общем, такая машина включает в себя несколько ключевых элементов:

Каркас и конструкция машины изготавливается из прочных металлических профилей, способных выдерживать высокие температуры внутри печи. Конструкция должна быть устойчивой и надежной.



Рисунок 2. Каркас машины

Механизм подъема и опускания отвечает за подъем и опускание колошника внутри печи. Он может быть оснащен гидравлическим или механическим приводом для управления движением колошника.



Рисунок 3. Механизмы машины

Для защиты от высоких температур и опасных условий внутри печи машина должна быть оснащена соответствующими защитными элементами, которые оснащены огнестойкими обшивками или кожухами.

В случае необходимости машина может быть оснащена системой охлаждения для предотвращения перегрева при работе в условиях высоких температур.

Для контроля движения и функционирования машины может быть использована специализированная управляющая система, которая обеспечивает автоматизацию и безопасность процесса работы.

В зависимости от конкретных требований процесса обработки руды, машина может быть оснащена различными специализированными инструментами или приспособлениями для обработки колошника внутри печи.

Это основные элементы, которые могут присутствовать в устройстве машины для обработки колошника печи в металлургии. Конкретное устройство может различаться в зависимости от типа и размеров печи, а также от конкретных требований производства.

Для начала рассмотрим общий вид гидравлического привода машины (рисунок 4).

Как видно из рисунка 4 на схеме отсутствуют элементы системы охлаждения, которые бы обеспечивали охлаждение машины, учитывая это и выводы из расчета основных показателей и рекомендации по устройству системы охлаждения предлагается разработка комбинированной системы.

Комбинированная система охлаждения гидравлического привода состоит из нескольких основных компонентов, включая:

- Воздушный радиатор, который служит для охлаждения гидравлической жидкости с помощью воздушного потока. Он обычно устанавливается на технике, где доступен достаточный объем воздуха для охлаждения. Воздушный радиатор представляет собой систему трубок и рёбер, через которые проходит гидравлическая жидкость. При прохождении воздушного потока через рёбра радиатора происходит отвод тепла от жидкости.

- Жидкостный радиатор применяется для охлаждения гидравлической жидкости, однако здесь тепло отводится с помощью жидкости, чаще всего воды или антифриза. Его обычно устанавливают в случаях, когда воздушное охлаждение не справляется, например, при экстремально высоких температурах или значительных тепловых нагрузках.
- Кондиционирование хладагентом R134a. Для улучшения эффективности охлаждения иногда используется хладагент, такой как R134a. Этот хладагент циркулирует в системе и применяется для передачи тепла от гидравлической жидкости к окружающей среде, улучшая тепловое равновесие в системе охлаждения.
- Насосы и вентиляторы. Комбинированная система охлаждения обычно включает в себя насосы и вентиляторы для циркуляции гидравлической жидкости и воздушного потока через радиаторы соответственно. Насосы подают жидкость к радиаторам, а вентиляторы обеспечивают воздушный поток через воздушный радиатор.

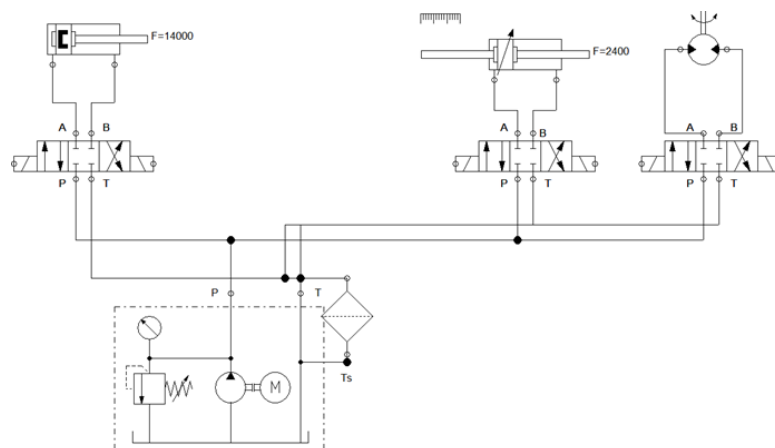


Рисунок 4. Общий вид гидравлического привода

Таким образом общий вид предлагаемой комбинированной системы охлаждения будет следующим (рисунок 5).

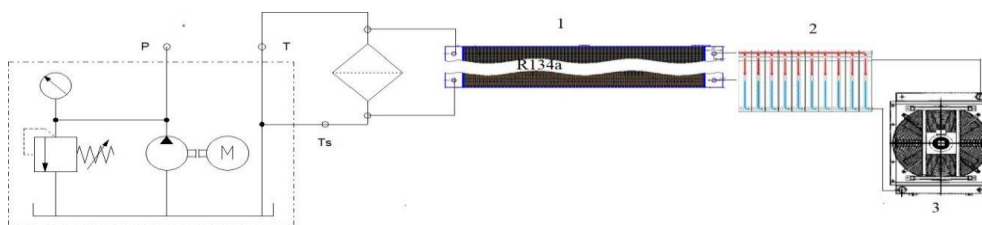


Рисунок 5. Общий вид комбинированной системы охлаждения
1 – система с хладагентом R134a; 2 – жидкостный радиатор;
3 – воздушный радиатор

Принцип работы комбинированной системы охлаждения основан на передаче тепла от гидравлической жидкости к окружающей среде через различные элементы охлаждения. Процесс охлаждения можно разделить на несколько этапов:

Охлаждение воздушным радиатором

Первым рассмотрим охлаждение воздушным радиатором так как этот способ является самым простым в комбинированной системе. Принцип работы данного вида охлаждения стандартный как на всех видах техники. Гидравлическая жидкость циркулирует через воздушный радиатор, где она охлаждается за счёт контакта с воздушным потоком. Тепло от гидравлической жидкости передаётся воздуху и уносится в окружающую среду.

Полагаем что данный вид охлаждения гидравлической системы не требует детального описания ее работы так как она работает практически на всех видах оборудования. Ссылаясь на опыт инженеров работающих в области эксплуатации оборудования где используются гидравлические системы выявлено что необходимо обратить особое внимание на некоторые параметры и характеристики узлов и деталей системы. Таким образом хотим дать некоторый акцент на радиатор который применяется в системе охлаждения, так как радиатор является одним из главных участников охлаждения гидравлической жидкости в системе. В первую очередь для эффективного отвода тепла от гидравлической жидкости радиатор должен иметь достаточную площадь поверхности. Хорошая теплоотдача обеспечивает оптимальное охлаждение системы при различных режимах работы и нагрузках. Также радиатор должен иметь достаточно большой воздушный проход для обеспечения свободного потока воздуха через его рёбра. Это позволяет предотвратить перегрев радиатора и обеспечить эффективное охлаждение гидравлической жидкости.

Также можно добавить, что конструкция радиатора должна быть достаточно прочной и надёжной, чтобы выдерживать воздействие вибраций, ударов и других внешних нагрузок в условиях эксплуатации. Это важно для обеспечения долговечности и надёжности работы системы охлаждения. При изготовлении радиатора необходимо применять материалы устойчивые к коррозии. По данным эксплуатирующих предприятий не мало простев приходится не выход из строя радиатора из за несоответствий качества материала из которого он был изготовлен. В тоже время радиатор должен быть изготовлен из экологически безопасных материалов и не содержать вредных веществ, которые могут загрязнять окружающую среду при эксплуатации и утилизации. Немало важно и то что радиатор должен быть сконструирован с учётом удобства монтажа и обслуживания. Это включает в себя правильное размещение крепёжных элементов, лёгкий доступ к присоединительным точкам и элементам радиатора для проведения технического обслуживания. Так как оборудование должно быть не сложным в обслуживаний и не требовало специальных средств и оснастки при выполнении ремонтных или монтажных работах. Удобство обслуживания и замены позволяет легко проводить обслуживание, чистку и замену в случае необходимости, что обеспечивает удобство в эксплуатации и продлевает срок службы всей системы охлаждения. Эффективность охлаждения является основным показателем системы охлаждения в целом, поэтому радиатор должен обеспечивать высокую эффективность охлаждения при минимальном сопротивлении воздушному потоку. Это позволяет снизить энергопотребление вентиляторов и повысить общую эффективность системы охлаждения.

Охлаждение жидкостным радиатором

Следующий вид охлаждения который будем далее разъяснять и который применяется в комбинированной системе это охлаждение жидкостным радиатором. Если охлаждение воздушным радиатором недостаточно эффективно, гидравлическая жидкость направляется в жидкостный радиатор. Здесь тепло от жидкости передаётся циркулирующей воде или антифризу, который охлаждается в результате контакта с более прохладной окружающей средой или с помощью вентиляторов. Данный вид охлаждения также широко применяется в производстве. К примеру в горнорудном производстве в частности на обогатительных фабриках довольно эффективно показал себя именно этот вид охлаждения, на дробилках и мельницах и в других оборудовании используется данный тип теплообмена. В чем значительное отличие от охлаждения воздушным радиатором так это возможность работы в более сложных условиях. Практика на данных предприятиях показывает, что охлаждение жидкостным радиатором позволяет снизить температуру рабочей жидкости от 6 до 10 градусов в зависимости от типа самого теплообменника, и стабилизирует температуры в рабочих пределах. Основываясь вышеуказанными аналитическими данными смеем с полной уверенностью полагать что охлаждение жидкостным радиатором является одним из эффективных систем. Но также как и в предыдущей системе для лучшей работоспособности системы в целом считаем целесообразным обозначения ряда требований к самому радиатору:

Теплоотдача: Радиатор должен обеспечивать эффективное удаление тепла из гидравлической жидкости. Он должен иметь достаточно большую площадь поверхности для эффективного теплообмена с окружающей средой.

Пропускная способность: Радиатор должен иметь достаточно большой диаметр трубок и пространство между ними для свободного протекания охлаждающей жидкости. Это обеспечивает низкое гидравлическое сопротивление и свободный поток охлаждающей жидкости через радиатор.

Прочность и надежность: Радиатор должен быть изготовлен из высококачественных материалов, обеспечивающих высокую прочность и долговечность. Он должен выдерживать давление жидкости и внешние механические воздействия в условиях эксплуатации.

Коррозионная стойкость: Радиатор должен быть устойчив к коррозии, особенно если используется вода или другие агрессивные жидкости в качестве охлаждающей среды. Это обеспечивает долгий срок службы и надежную работу радиатора.

Эффективность охлаждения: Радиатор должен обеспечивать высокую эффективность охлаждения при различных условиях эксплуатации и нагрузках. Он должен эффективно удалять тепло из гидравлической жидкости и поддерживать стабильную температуру работы системы.

Эргономика и удобство монтажа: Радиатор должен иметь удобную конструкцию для монтажа и обслуживания. Он должен быть легким в установке и иметь удобный доступ к присоединительным точкам для соединения с системой охлаждения.

Универсальность и совместимость: Радиатор должен быть универсальным и совместимым с различными моделями гидравлических приводов и других систем, чтобы обеспечивать широкий спектр применения.

Экологическая безопасность: Радиатор должен быть изготовлен из экологически безопасных материалов и не содержать вредных веществ, которые могут загрязнять окружающую среду при эксплуатации и утилизации.

Эстетический вид: В зависимости от конкретного применения и условий эксплуатации, радиатор может также предъявлять требования к внешнему виду, например, для соответствия дизайну и

эстетическому облику техники.

Охлаждение хладагентом R134a

В современном мире когда экономическое развитие того или иного региона напрямую зависит от производства, и промышленные мощности и объемы добычи, переработки ресурсов возрастают с каждым днем, возникают все новые требования к технологическим методам и к применяемым оборудованьям. Перед оборудованием и техникой ставятся все новые задачи в за частую выполнение которых без улучшения и модернизаций практически невозможно. Вышеупомянутые виды охлаждения показали свою эффективность в тех условиях на которые они рассчитаны, но в условиях экстремально высоких температурах и нагрузках они малоэффективны. В таких случаях может использоваться третий дополнительный вид системы охлаждения, охлаждение хладагентом R134a, и далее будет разъяснен принцип работы данной системы. Дополнительное охлаждение может быть обеспечено за счёт циркуляции хладагента R134a в системе. Хладагент поглощает тепло от гидравлической жидкости и передает его в испаритель, где происходит испарение хладагента. В результате этого процесса тепло поглощается из окружающей среды и передается хладагенту. Затем пар хладагента подается в компрессор, где он сжимается, повышая свою температуру и давление. Сжатый пар поступает в конденсатор, где тепло отдается окружающей среде, и хладагент конденсируется обратно в жидкое состояние. Жидкий хладагент затем пройдет через расширительный клапан и снова попадет в испаритель для повторения цикла. Необходимо соблюсти все требования к системе для ее правильной и эффективной работы. Система должна обеспечивать эффективное охлаждение гидравлического привода, поддерживая его работу при оптимальной температуре даже при высоких нагрузках и в различных условиях эксплуатации. В ту же очередь она должна быть надежной и стабильной, чтобы обеспечить непрерывную работу гидравлического привода без сбоев и перебоев в работе системы охлаждения. Именно хладагент R134a выбран в силу своих экологически безопасных свойств, и система рассчитана на работу на этом хладагенте. Все компоненты системы должны быть совместимы с хладагентом R134a и обладать высокой стойкостью к коррозии и окружающей среде, чтобы обеспечить долгий срок службы и надежную работу системы. Также очень важно и то что система должна иметь эффективное управление и контроль, позволяющее поддерживать заданные параметры охлаждения и автоматически реагировать на изменения в условиях эксплуатации. Легкость в обслуживании, что включает в себя простоту доступа к компонентам, удобство проведения технического обслуживания и возможность быстрой замены компонентов в случае необходимости является ключевым моментом в вопросах обслуживания. Система должна быть безопасной в эксплуатации, обеспечивая надежную защиту от возможных аварийных ситуаций, утечек и других непредвиденных обстоятельств. Учитывая эти требования, система охлаждения с использованием хладагента R134a должна быть спроектирована и реализована с учетом всех аспектов эффективности, надежности, экологической безопасности и безопасности в эксплуатации. Таким образом, в комбинированной системе охлаждения гидравлического привода воздушные и жидкостные радиаторы используются для охлаждения гидравлической жидкости, а хладагент R134a применяется для дополнительного охлаждения с целью повышения эффективности системы. Каждый компонент системы выполняет свою функцию в передаче тепла от гидравлической жидкости к окружающей среде, обеспечивая надежное и эффективное охлаждение

гидравлического привода. Использование комбинации различных элементов охлаждения позволяет достичь высокой эффективности охлаждения гидравлического привода даже в условиях высокой тепловой нагрузки. Комбинированная система охлаждения обеспечивает гибкость в выборе методов охлаждения в зависимости от конкретных условий эксплуатации и требований к системе. Использование нескольких элементов охлаждения повышает надежность системы, так как это позволяет компенсировать возможные сбои или неполадки в работе одного из элементов. Применение хладагента R134a делает систему более универсальной и адаптивной к различным условиям эксплуатации и требованиям к охлаждению. Рассчитаем необходимое количество рабочего тела для применения комбинированной системы, начнем с воздушного охлаждения предварительно разделив в соотношении 2/5 воздух, 2/5 охлаждающая жидкость, 1/5 хладагент:

$$m = \frac{Q}{c_p \Delta T} = \frac{20231}{1005 \cdot 238} = 0,085 \text{ кг/сек}$$

$$V_{\text{воздух}} = 0,085 \cdot 1,225 = 0,104 \text{ м}^3/\text{сек или } 374 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$V_{\text{ож}} = \frac{Q}{\rho \cdot c \Delta T} = \frac{20231}{1000 \cdot 1,4 \cdot 238} = 0,061 = 61 \text{ литр};$$

$$V_{\text{хлад}} = \frac{Q}{\rho \cdot c \cdot \Delta T} = \frac{10117}{1188 \cdot 1,51 \cdot 238} = 0,024 = 24 \text{ литра}$$

Комбинированные системы охлаждения гидравлического привода, включающие в себя воздушные и жидкостные радиаторы, а также использование хладагента R134a, представляют собой эффективное и надежное решение для обеспечения нормальной работы гидравлических систем в различных промышленных и технических приложениях. Эти системы обеспечивают эффективное охлаждение гидравлического привода и повышают его производительность и надежность в условиях эксплуатации.

Результаты и Обсуждение

Проведенное исследование показало, что существующие системы охлаждения гидравлического привода не всегда удовлетворяют требованиям по эффективности и надежности, особенно в условиях высокого расхода рабочего тела. В связи с этим была предложена комбинированная система охлаждения, сочетающая воздушное, жидкостное охлаждение и использование хладагента R134a. Такая система позволяет достичь высокой эффективности теплообмена, обеспечивая стабильную работу гидравлического привода даже в условиях экстремальных температур и нагрузок.

Основные преимущества комбинированной системы охлаждения включают

- Эффективность: Использование нескольких методов охлаждения позволяет достичь оптимального теплообмена и предотвратить перегрев системы;
- Гибкость: Система адаптируется к различным условиям эксплуатации, что делает ее универсальной для применения в различных типах печей;

- Надежность: Комбинация нескольких элементов охлаждения повышает отказоустойчивость системы, обеспечивая ее стабильную работу даже в случае частичного выхода из строя одного из компонентов;
- Экологическая безопасность: Использование хладагента R134a, обладающего низким воздействием на окружающую среду, делает систему более экологически чистой.

Расчеты показали, что для эффективной работы комбинированной системы требуется определенное количество рабочего тела: 374 м³/час воздуха, 61 литр охлаждающей жидкости и 24 литра хладагента. Это позволяет обеспечить оптимальный баланс между эффективностью охлаждения и энергозатратами.

Исследование вносит значительный вклад в развитие методов охлаждения гидравлических систем, предлагая новый подход к проектированию и эксплуатации оборудования в металлургии. Работа способствует улучшению технологических процессов и снижению эксплуатационных затрат.

Результаты исследования могут быть применены в металлургической промышленности для модернизации существующих систем охлаждения, что приведет к повышению производительности оборудования, снижению затрат на обслуживание и улучшению экологических показателей.

Заключение

В статье рассматривается важная проблема повышения эффективности охлаждения гидравлического привода машины для обработки колошника в металлургии, работающей в условиях высоких температур и нагрузок.

Разработана комбинированная система охлаждения, сочетающая воздушное, жидкостное охлаждение и хладагент R134a, что повышает надежность и энергоэффективность оборудования.

Анализ показал, что традиционные системы охлаждения не обеспечивают достаточной эффективности из-за высокого расхода рабочего тела и перегрева гидравлического привода.

Результаты исследования могут быть использованы для модернизации металлургического оборудования, что приведет к:

-Модернизации существующих металлургических установок.

-Повышения срока службы гидравлических систем.

-Снижения эксплуатационных затрат за счет уменьшения перегрева и энергопотребления.

-Улучшению экологических показателей производства.

Предложенная комбинированная система охлаждения демонстрирует высокую эффективность и может быть успешно внедрена в металлургической промышленности для повышения надежности и энергоэффективности гидравлических приводов, работающих в экстремальных условиях.

Вклад авторов

С.Р. Турсынбекова: автор идеи, разработала общую концепцию исследования, разработала

концепцию комбинированной системы охлаждения, а также руководила процессом написания статьи.

Б.Д.Сулеев: исследовал конструктивные особенности машины для обработки колошника, проанализировал тепловые нагрузки и предложил оптимальную конфигурацию охлаждающих элементов.

Г.Е. Сиргетаева: А. Забиева провела анализ существующих решений и выполнила расчеты эффективности предложенной системы.

А.М. Искакова: оценила экологические и энергетические аспекты использования хладагента R134a, провела сравнительный анализ различных методов охлаждения и сформулировала практические рекомендации.

Список литературы

1. Система жидкостного охлаждения статоров электрических машин // Патент РФ № 2009144368/07, 01.12.2009, МПК H02K 9/19 // Иванова Татьяна Васильевна, Лабукин Анатолий Анатольевич, Сайфутдинов Руслан Фаритович.
2. Эжекторная система масляного охлаждения для вспомогательного авиационного двигателя // Патент РФ № 97108163/28 МПК B64D 33/08 / Даймлер Бенц Аэроспейс
3. Рылякин, Е. Г. Подогрев масла в гидросистеме / Е. Г. Рылякин // Сельский механизатор. – 2014. – № 8. С. 38–40. 6.
4. Курылев, А. В. Система регулирования температуры рабочей жидкости в гидроприводе транспортно-технологических машин / А. В. Курылев, Е. Г. Рылякин // Мир транспорта и технологических машин. – 2014. – № 3 (46). – Июль– сентябрь. – С. 89–96. 7.
5. Пат. 2236615 Российская Федерация, МПК7 F 15 В 21/04 А. Система регулирования температуры рабочей жидкости в гидроприводе / П. А. Власов, Е. Г. Рылякин ; заявитель и патентообладатель Пензенская государственная сельскохозяйственная академия. – № 2003118925/06 ; заявл. 23.06.03 ; опубл. 20.09.04, Бюл. № 26. – 6 с.
6. Власов, П. А. Теоретическое обоснование терморегулирования рабочей жидкости в гидросистеме / П. А. Власов, Е. Г. Рылякин // Нива Поволжья. – 2008. – № 1 (6). С. 25–29.
7. Чебунин А.Ф. Гидропривод транспортных и технологических машин: учеб. пособие /А.Ф. Чебунин. – 2-е изд., испр. – Чита: ЗабГУ, 2012. - 135 с.
8. Воронин В. П., Танасов Е. Н., учебное пособие для курсантов судомеханического отделения морской школы рыбной промышленности по специальности» Эксплуатация судовых электростанций", Одесса, 2010, 265 С.
9. Электронный ресурс: <https://po-stroika.ru/xarakteristiki-dizelnogo- dvigatelya-gaz-s-voz dusnym-oxlazdeniem/>
10. Электронный ресурс: <https://po-stroika.ru/xarakteristiki-dizelnogo- dvigatelya-gaz-s-voz dusnym-oxlazdeniem/>.

**С.Р. Турсынбекова¹, Б.Д. Сулеев², Г.Е. Сиргетаева¹,
А.Забиева¹, А.М. Исакова³**

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

² *Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды*

³ *ЖШС «Қарағандыэнерго саласы», Қарағанды*

**Жоғары температурада жұмыс істейтін көлік техникасының
көлік техникасының гидравликалық жетегінің салқындату жүйесінің жұмыс
тиімділігін жоғарылату**

Аңдатпа. Бұл мақалада колошникті өңдеуге арналған машинаның құрылымдық ерекшеліктері қаралады, сондай-ақ ауамен, сұйықтықпен салқындатуды және R134a салқындату агентін пайдалануды үйлестіретін гидравликалық жетекті салқындатудың құрамдастырылған жүйесі ұсынылады. Басты назар қолданыстағы салқындату жүйелерін талдауға, жаңа құрылымды әзірлеуге және оның тиімділігін бағалауға аударылды. Ұсынылған салқындату жүйесі жабдықтың сенімділігі мен ұзақ мерзімін арттыруға, энергия шығындарын азайтуға және экологиялық көрсеткіштерді жақсартуға бағытталған. Зерттеу металлургияда колошникті өңдеуге арналған машинаның гидравликалық жетегінің салқындату жүйесін әзірлеуге және оңтайландыруға арналған. Тақырыптың өзектілігі металлургия өндірісіне жоғары температуралар мен қарқынды жүктемелер жағдайында жабдық жұмысының тиімділігі мен сенімділігін арттыру қажеттілігіне негізделген.

Түйін сөздер: колошникті өңдеуге арналған машина, гидравликалық жетек, салқындату жүйесі, ауа радиаторы

**S.R. Tursynbekova¹, Suleev B.D.², G.E. Sirgetaeva¹,
A.Zabiyeva¹, A.M. Iskakova³**

¹ *Eurasian National University named after L. N. Gumilyov, Astana*

² *Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda*

³ *Karagandyenergo Salasy LLP, Karaganda*

**Improving the efficiency of the hydraulic drive cooling system
of vehicles operating in critical conditions**

Abstract. This article discusses the design features of the blast furnace machine, and also proposes a combined hydraulic drive cooling system that combines air, liquid cooling and the use of R134a coolant. The focus is on analyzing existing cooling systems, developing a new design and evaluating its effectiveness. Proposed cooling system is aimed at improvement of reliability and durability of equipment, reduction of power consumption and improvement of ecological indices. The study is devoted to the development and optimization of the cooling system of the hydraulic drive of the machine for processing blast furnace in metallurgy. The relevance of the topic is due to the need to increase the efficiency and reliability of equipment in conditions of high temperatures and intense loads characteristic of metallurgical production.

Key words: blast furnace processing machine, hydraulic drive, cooling system, air radiator, liquid radiator, R134a coolant, metallurgy, heat exchange, cooling efficiency, reliability of equipment.

References

1. Liquid cooling system for stators of electric machines//Patent of the Russian Federation No. 2009144368/07, 01.12.2009, MPK H02K 9/19//Ivanova Tatyana Vasilievna, Labutin Anatoly Anatolyevich, Sayfutdinov Ruslan Faritovich.
2. Ejector oil cooling system for auxiliary aircraft engine//Russian Patent No. 97108163/28 MPK B64D 33/08/Daimler Benz Aerospace
3. Rylyakin, E. G. Oil heating in the hydraulic system/E. G. Rylyakin//Rural machine operator. – 2014. – № 8. S. 38-40. 6.
4. Kurylev, A. V. System for regulating the temperature of the working fluid in the hydraulic drive of transport and technological machines/A. V. Kurylev, E. G. Rylyakin//World of transport and technological machines. – 2014. – № 3 (46). - July-Sept. - S. 89-96. 7.
5. Pat. 2236615 Russian Federation, MPK7 F 15 B 21/04 A. Hydraulic fluid temperature control system/P. A. Vlasov, E. G. Rylyakin; applicant and patent holder Penza State Agricultural Academy. – № 2003118925/06 ; declared. 23.06.03 ; publ. 20.09.04, Bul. № 26. - 6 s.
6. Vlasov, P. A. Theoretical justification of temperature control of the working fluid in the hydraulic system/P. A. Vlasov, E. G. Rylyakin//Niva of the Volga region. – 2008. – № 1 (6). S. 25-29.
7. Chebunin A.F. Hydraulic drive of transport and technological machines: tutory. manual/A.F. Chebunin. - 2nd ed., Isp. - Chita: ZabSU, 2012. - 135 s.
8. Voronin V.P., Tanasov E.N., training manual for cadets of the ship-mechanical department of the marine school of the fishing industry, specialty "Operation of ship power plants," Odessa, 2010, 265 S.
9. Electronic resource: <https://po-stroika.ru/xarakteristiki-dizelnogo-dvigatelya-gaz-s-vozdušnym-oxlazdeniem/>
10. Electronic resource: <https://po-stroika.ru/xarakteristiki-dizelnogo-dvigatelya-gaz-s-vozdušnym-oxlazdeniem/>.

Сведения об авторах:

Турсынбекова С.Р. – автор для корреспонденции, магистр технических наук, преподаватель Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, 10000, Астана, Казахстан.

Сулеев Б.Д. - доктор PhD, ассоциированный профессор Карагандинского технического университета имени А. Сагинова, ул. Н.Назарбаева, 56, 100016, Караганда, Казахстан.

Сиргетаева Г.Е. - доктор PhD, и.о.доцента Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, 10000, Астана, Казахстан.

Искакова А.М. - магистр технических наук, инженер ТОО «Қарағандыэнерго саласы», ул. Муканова, 59, 100016, Караганда, Казахстан.

А.Забиева- кандидат техничеких наук, ассоциированный профессор Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, 10000, Астана, Казахстан.

Tursynbekova S.R. - author for correspondence, master of technical sciences, teacher of the Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, st. Kazhymukan, 13, 10000, Astana, Kazakhstan.

Suleev B.D. - Doctor PhD, Associate Professor, Karaganda Technical University named after A. Saginov, str., N. Nazarbayev, 56, 100016, Karaganda, Kazakhstan.

G.E. Sirgetaeva - PhD, Professor, Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Kazhymukan str., 13, 10000, Astana, Kazakhstan.

Iskakova A.M. - Master of Technical Sciences, engineer of Karagandyenergo Salasy LLP, st. Mukanova, 59, 100016, Karaganda, Kazakhstan.

A Zabiyeveva- candidate of technical sciences, associate professor of the Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, st. Kazhymukan, 13, 10000, Astana, Kazakhstan.

Турсынбекова С.Р. - хат-хабар авторы, техникалық ғылымдар магистрі, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің оқытушысы, Қажымұқан көшесі, 13, 10000, Астана, Қазақстан.

Сулеев Б.Д. - PhD доктор, А.Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университетінің қауымдастырылған профессоры, Н. Назарбаев көшесі, 56, 100016, Қарағанды, Қазақстан.

Сиргетаева Г.Е. - PhD доктор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің доцентінің м.а., Қажымұқан көшесі, 13, 10000, Астана, Қазақстан.

Исакова А.М. - техника ғылымдарының магистрі, «Қарағандыэнерго саласы» ЖШС инженері, Мұқанов көшесі, 59, 100016, Қарағанды, Қазақстан.

А.Забиева- техникалық ғылымдар кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің қауымдастырылған профессор, Қажымұқан көшесі, 13, 10000, Астана, Қазақстан.





МРНТИ 28.23.15

Обзорная статья

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-151-2-237-249>

Разработка алгоритмов управления мобильным роботом на основе условий Аккермана

А.К. Тулешов¹  Ж. Т. Айтуганова^{2,3}  А.Ж. Абекова^{1,2*} 
А.Е. Исмайылов⁴ 

¹Институт механики и машиноведения имени академика У.А.Джолдасбекова

²Казахский Национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан

³Алматинский технологический университет, Алматы, Қазақстан

⁴Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан

E mail: abekova310792@gmail.com

Аннотация. В данной работе рассматривается система управления мобильным роботом на основе дифференциальных уравнений движения и условий Аккермана. Основная цель исследования заключается в разработке алгоритма, который позволяет роботу эффективно перемещаться к заданной целевой точке, управляя при этом углом поворота и линейной скоростью. Работа начинается с определения необходимых формул для вычисления расстояния до цели и угла поворота, что позволяет роботу ориентироваться в пространстве. Затем описываются методы, позволяющие управлять углом поворота колес и расчетами скорости с учетом расстояния до целевой точки. Для обеспечения плавного и безопасного движения создается итеративный контроллер, который обновляет состояние робота (координаты и ориентацию) на каждом шаге времени. Важной частью работы является реализация алгоритма в виде программного кода в среде MATLAB, включая графическую визуализацию траектории движения робота с помощью встроенных инструментов. Результаты исследования показывают, что предложенный подход позволяет роботу эффективно маневрировать и адаптироваться к изменениям в окружающей среде, обеспечивая высокую точность движения и безопасность выполнения задач.

Ключевые слова: Мобильный робот, система управления, алгоритм управления, позиционирование, управление по целевой точке, параметры движения, радиус и угол поворота

Поступила 07.06.2025. Доработана 16.06.2025. Одобрена 19.06.2025. Доступна онлайн 30.06.2025

* автор по корреспонденции

Введение

С увеличением интереса к автоматизации логистики и промышленности грузовые мобильные роботы становятся важными инструментами для повышения производительности и сокращения издержек. Эффективное управление их движением становится критически важным. Условия Аккермана обеспечивают оптимальное поведение при поворотах, что особенно актуально для роботов, которые работают в ограниченных пространствах, таких как склады и производственные площадки. Это позволяет эффективно и безопасно передвигаться между стеллажами и другими препятствиями. Применение условий Аккермана помогает повысить точность навигации и уменьшить вероятность столкновений, обеспечивая безопасное движение в сложных и динамичных средах.

Автономные мобильные колесные роботы становятся всё более совершенными мехатронными системами, в которых применяются электронные системы управления и алгоритмы, направленные на улучшение их маневренности[1]. Снижение затрат на обслуживание и управление за счет улучшения маневренности и снижения риска повреждений или аварий, что в свою очередь будет способствовать более устойчивому развитию бизнеса. Эти аспекты подчеркивают значимость разработки и внедрения систем управления рулевыми механизмами с учетом условий Аккермана в современных грузовых мобильных роботах.

Разработка систем управления рулевыми механизмами грузовых мобильных роботов на основе условий Аккермана становится актуальной и востребованной задачей. Применение этой модели управления позволяет значительно повысить маневренность, точность и безопасность передвижения роботов в ограниченных и динамичных условиях. Условия Аккермана обеспечивают оптимальное управление движением, что критически важно для эффективной работы в складских и производственных средах. В условиях растущей конкуренции на рынке автоматизации логистики внедрение таких технологий может привести к снижению затрат, улучшению качества обслуживания и более эффективному использованию ресурсов.

Таким образом, учет условий Аккермана в проектировании систем управления становится неотъемлемой частью развития мобильных роботов, что открывает новые горизонты для автоматизации и оптимизации логистических процессов.

Цели работы является разработка и внедрение эффективной системы управления рулевым механизмом грузовых мобильных роботов на основе принципов условий Аккермана для повышения маневренности, точности навигации и безопасности в процессе выполнения задач в ограниченных и динамичных средах.

Методология

1. Анализ существующих подходов к управлению рулевыми механизмами мобильных роботов, включая оценку их преимущества и недостатки.

2. Исследование основ условий Аккермана и их применение к моделированию поведения рулевых механизмов.

3. Разработка алгоритмов управления, основанных на условиях Аккермана, которые обеспечивают оптимальное поведение робота при выполнении маневров.

4. Проведение симуляций и экспериментальных испытаний для оценки эффективности предложенной системы управления в реальных условиях.

5. Оценка результатов и внесение рекомендаций по дальнейшему улучшению систем управления на основе полученных данных.

Условия Аккермана — это математическая модель, предназначенная для определения идеального угла поворота колес автомобиля в зависимости от радиуса поворота. Эта модель учитывает, что внутренние и внешние колеса должны поворачиваться под разными углами при выполнении маневра.

Следует отметить, что в общем случае плоское движение без скольжения эквивалентно существованию мгновенного центра вращения, расположенного на пересечении перпендикуляров к линейным скоростям точек движущейся тележки[2].

Для решения поставленных задач разработать математические модели описания движения мобильного робота, работающего по условиям Аккермана, можно использовать следующие уравнения:

Кинематическая модель робота может быть представлена в виде системы дифференциальных уравнений, которые описывают изменение координат робота (x, y) и ориентации (θ)(рис.1) [3]:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= v \cdot \cos(\theta) \\ \dot{y} &= v \cdot \sin(\theta) \\ \theta &= \frac{v}{L} \cdot tg(\delta)\end{aligned}\tag{1}$$

где:

- x и y - координаты робота в плоскости.
- θ - ориентация робота.
- v - линейная скорость робота.
- L - расстояние между осями колес (колесная база).
- δ - угол поворота передних колес относительно оси робота.

- Радиус поворота (R): Радиус поворота определяет, насколько круто может поворачивать робот. Он может быть выражен через угол поворота и длину колесной базы:

$$R = \frac{L}{tg(\delta)}\tag{2}$$

где:

- R - колесная база (расстояние между передними и задними осями).
- δ - угол поворота передних колес.

Угол поворота (δ): Угол, под которым поворачиваются передние колеса, влияет на радиус поворота и маневренность робота. Увеличение угла поворота позволяет уменьшить радиус поворота, что важно для маневрирования в ограниченных пространствах. На основании уравнений нам необходимо уравнения управления параметрами, которые позволяют разработать алгоритмы управления для мобильного робота, которые могут

основываться на текущем положении и ориентации робота, а также целевой позиции. Системы управления могут адаптироваться к меняющимся условиям и обеспечивать точное и безопасное маневрирование по заданным траекториям, что особенно важно в логистических и складских операциях.

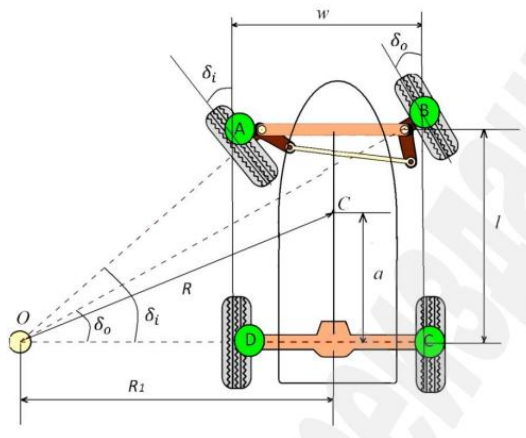


Рисунок 1. Кинематическая схема четырехколесного транспортного средства

Для управления мобильным роботом, особенно в контексте роботов, работающих по условиям Аккермана, можно использовать несколько различных методов управления. Ниже рассматриваются основные типы управления:

1. Позиционирование и управление по целевой точке

Для перехода от текущих координат робота (x, y) к целевой точке (x_{target}, y_{target}) можно определить по следующей формуле:

Вычисление расстояния до целевой точки:

$$d = (X_{target} - X)^2 + (Y_{target} - Y)^2 \quad (3)$$

Вычисление угла поворота к целевой точке:

$$\theta_{target} = \arctg \left(\frac{Y_{target} - Y}{X_{target} - X} \right) \quad (4)$$

Угол поворота для управления роботом:

$$\Delta\theta = \theta_{target} - \theta \quad (5)$$

2. Управление углом поворота

Для управления углом поворота передних колес можно использовать:

Угол поворота колеса:

$$\delta = \arctg \left(\frac{L \cdot \tg(\Delta\theta)}{R} \right) \quad (6)$$

где:

- L - длина колесной базы,

- R - радиус поворота.

3. Управление скоростью

Скорость может быть рассчитана в зависимости от расстояния до целевой точки и заданной максимальной скорости v_{max} :

$$v = k \cdot d \quad (7)$$

где:

- k - коэффициент, определяющий, насколько быстро робот должен двигаться к целевой точке (значение должно быть в диапазоне от 0 до 1).

4. Итеративное управление

Каждый шаг управления можно описать через систему уравнений, которые обновляют состояние робота (x, y, θ) на основании рассчитанных значений скорости и угла поворота:

$$\begin{aligned} x_{new} &= x + v \cdot \cos(\theta) \cdot \Delta t \\ y_{new} &= y + v \cdot \sin(\theta) \cdot \Delta t \\ \theta_{new} &= \theta + Lv \cdot \operatorname{tg}(\delta) \cdot \Delta t \end{aligned} \quad (8)$$

где Δt – временной шаг.

5. Пример контроллера

С использованием методов управления можно создать контроллер, который будет выполнять следующие шаги:

1. Вычисляет расстояние и угол к целевой точке.
2. Определяет, какой угол следует взять для поворота колес.
3. Устанавливает скорость робота в зависимости от расстояния до цели.
4. Обновляет положение робота на каждом шаге времени на основе рассчитанных параметров.

Таким образом, управление мобильным роботом требует вычисления целевых координат и углов, а также определения скорости и угла поворота. Эти формулы описывают основные принципы управления и могут быть реализованы в программном обеспечении для автономного движения робота.

Понимание математической модели движения робота и ключевых параметров, таких как радиус и угол поворота и т.д., позволяет создать эффективные модели управления на основе условий Аккермана, что значительно улучшает маневренность и безопасность грузовых мобильных роботов.

Условия Аккермана легко интегрируются с системами автоматизации и управления, что позволяет использовать их в роботах с искусственным интеллектом и автонавигаторах

Таким образом, применение условий Аккермана в рулевых механизмах грузовых мобильных роботов способствует повышению их производительности и безопасности в ходе операций.

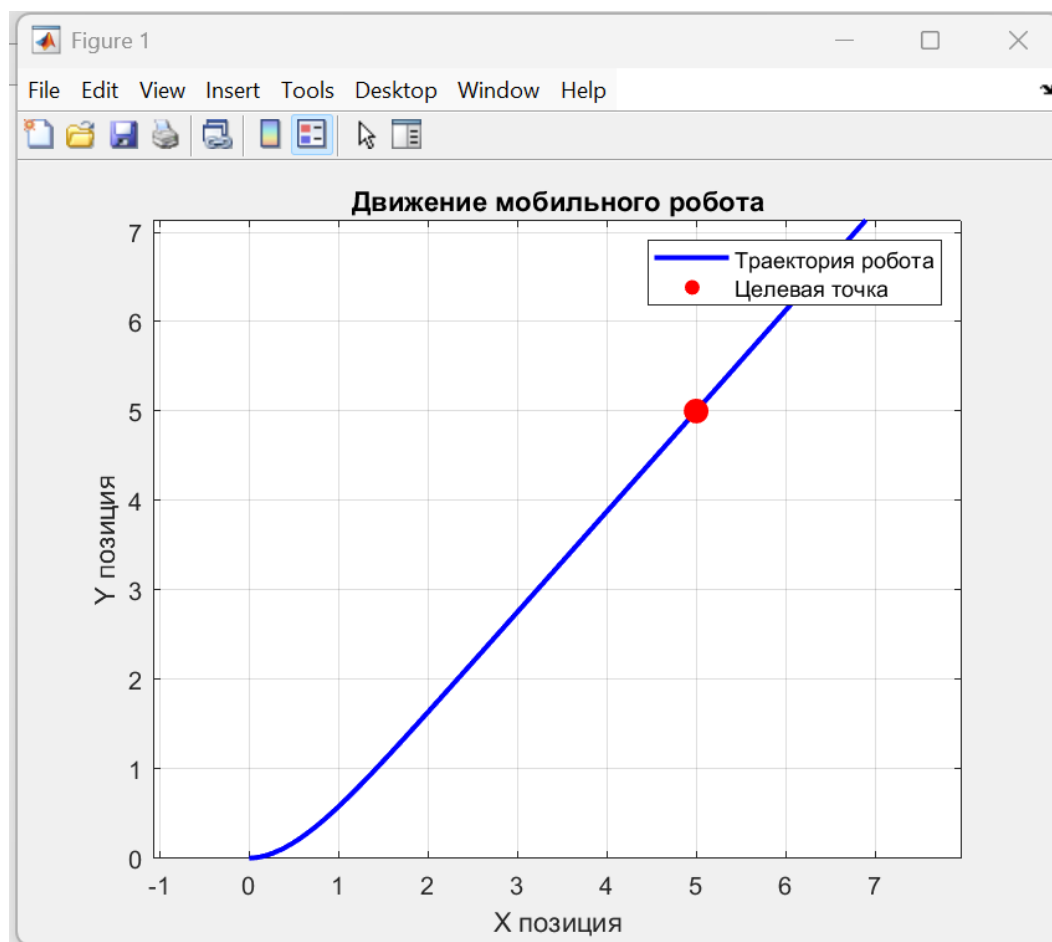


Рисунок 2. Движение мобильного робота

Результаты и Обсуждение

1. Форма траектории. График показывает, что робот движется по плавной криволинейной траектории. Это связано с тем, что он не сразу ориентируется в направлении цели, а постепенно корректирует курс.
2. Коррекция движения. Начальная фаза движения демонстрирует активное изменение угла ориентации, так как робот сначала стремится развернуться в сторону цели, а затем уже двигается в её направлении.
3. Код использует кинематическую модель дифференциального привода, что позволяет реалистично моделировать движение мобильного робота.
4. Метод *ode45* успешно решает систему дифференциальных уравнений, описывающих движение, обеспечивая плавную траекторию.
5. Итоговый график демонстрирует траекторию движения и целевую

точку, что позволяет анализировать эффективность управления.

В целом, график подтверждает работоспособность модели, однако требует уточнения параметров управления для точного достижения цели.

Код алгоритма движения мобильного робота в MATLAB:

```
% Параметры
L = 0.5; % Расстояние между осями колес
v = 1.0; % Линейная скорость робота
x_target = 5.0;
y_target = 5.0; % Целевая точка

% Определение модели динамики
function dstate = model(~, state, x_target, y_target, v, L)
    x = state(1);
    y = state(2);
    theta = state(3);

    % Вычисления
    d = sqrt((x_target - x)^2 + (y_target - y)^2);
    Q_target = atan2(y_target - y, x_target - x);
    delta = Q_target - theta;

    % Ограничение угла поворота
    if delta > pi
        delta = delta - 2 * pi;
    elseif delta < -pi
        delta = delta + 2 * pi;
    end

    % Определение управления
    sigma = v * delta; % Управление (производная)

    % Кинематическая модель
    dxdt = v * cos(theta);
    dydt = v * sin(theta);
    dthetadt = (v / L) * tan(delta);

    dstate = [dxdt; dydt; dthetadt];
end

% Начальные условия
initial_state = [0.0; 0.0; 0.0]; % [x, y, theta]
time = linspace(0, 10, 100); % Время от 0 до 10 секунд

% Решение ОДУ
```

```
[t, solution] = ode45(@(t, y) model(t, y, x_target, y_target, v, L), time, initial_state);
```

```
% Извлекаем результаты
```

```
x = solution(:, 1);
```

```
y = solution(:, 2);
```

```
% Построение графика
```

```
figure;
```

```
plot(x, y, 'b', 'LineWidth', 2);
```

```
hold on;
```

```
scatter(x_target, y_target, 100, 'r', 'filled');
```

```
xlabel('X позиция');
```

```
ylabel('Y позиция');
```

```
title('Движение мобильного робота');
```

```
legend('Траектория робота', 'Целевая точка');
```

```
grid on;
```

```
axis equal;
```

```
hold off;
```

Этот код показывает, как можно использовать МАТЛАБ для реализации задачи управления мобильным роботом с использованием моделей, основанных на условиях Аккермана и решением ОДУ.

Заключение

В данной работе был рассмотрен алгоритм управления мобильным роботом, основанный на математическом моделировании и применении методов навигации. Исследование показало, что правильный выбор формул и подходов к управлению позволяет роботу эффективно и точно перемещаться к заданной цели. Разработанные алгоритмы способствуют точному вычислению расстояния и углов поворота, а также обеспечивают корректное определение линейной скорости робота, что является критически важным для его автономного функционирования.

В ходе работы была реализована система управления, которая обновляет положение и ориентацию робота на основе полученных значений. Осуществленная визуализация движения с помощью встроенных средств МАТЛАБ подтверждает возможность успешного выполнения поставленных задач в реальном времени.

Полученные результаты подчеркивают важность интеграции теоретических основ и практической реализации в разработке автономных систем. Использование представленных формул и методов может быть адаптировано для различных областей применения, включая логистику, исследовательские миссии и промышленные процессы.

Таким образом, данная работа открывает перспективы для дальнейших исследований в области робототехники и совершенствования систем управления мобильными роботами. Описанные подходы могут служить основой для разработки более сложных алгоритмов, включающих элементы адаптивного управления и машинного обучения.

Вклад авторов

Тулешов А.К.: Проведение анализа условий Аккермана как основы для разработки алгоритмов управления. Разработка теоретических подходов к реализации алгоритмов управления мобильными роботами.

Ж.Т.Айтуганова.: Оценка применимости условий Аккермана для реальных задач навигации и управления. Оптимизация алгоритмов с учетом специфики движущихся платформ.

Абекова А.Ж, Исмаилов А.Е.: Проведение численных экспериментов и анализа их результатов. Интеграция теоретических разработок в прикладные системы управления. Оценка устойчивости и точности предложенных алгоритмов на симуляционных моделях.

Список литературы

1. Татиевский Д. Н. Синтез управления для 4ws модели автомобиля-робота для движения по программной траектории . DOI: 10.15587/2312-8372.2019.180504
2. Иоффе М.Л. Принцип Аккермана и его реализации в современных автомобилях . Известия высших учебных заведений. Машиностроение #9(738) 2021.
3. Берестова С.А., Мисюра Н.Е., Митюшов Е.А. Кинематическое управление движением колесных транспортных средств // Вестник Удмуртского университета Математика.Механика.Компьютерные науки 2015.Т.25.Вып.2
4. Kütük M., Halicioglu R., Dülger L. C. Kinematics and Simulation of a Hybrid Mechanism [Text] // MATLAB/SimMechanics «Journal of Physics»: Conference Series. – 01.2016. – Vol 574. – P. 215.
5. Ichikawa K., Murata C., Takahashi T. Nonsimultaneous press forming using 4-axes direct drive digital servo press [Text] // [Procedia Engineering]. Proceedings of the 11th International Conference on Technology of Plasticity. – 2014.
6. Hollerbach J.M. Dynamic Scaling of Manipulator Trajectories [Text] // Trans ASME, J. Dyn. Systems, Measurement and Control. –1984. – P.102-106.
7. Rooney R.H., Shapiro E.Y. The use modal control to minimize errors in the analytical reconstruction of flight control sensor signals [Text] // Proc. IEEE Nat, Aerospace and Electron. Conf. NAECON 1982. Dayton, Ohio, 1982. New York. – 1982. – № 4.
8. Luh J. Y. S., Walker M.W., Paul R. P. On Line – Computational Scheme for Mechanical Manipulators [Text] // Trans. ASME, J. Dyn. Systems, Measurement and Control. – 1980. – Vol. 120. – P. 69-76.
9. Lee C. S. G., Lee B. H., Nigam R. Development of the Generalized d'Alembert Equations of Motion for Mechanical Manipulators [Text] // Proc.2nd Conf. Decision and Control, San Antonio, Tex. – 1983. – P. 1205-1210.
10. Walker M.W., Orin D.E. Efficient Dynamic Computer Simulation of [Text] // Mechanisms Trans. ASME, J. Systems, Measurement and Control. – 1982. – Vol. 104. – P. 205-211
11. Murata C., Endou J., Futamura S. Development of direct drive digital servo press [Steel Grips-Journal and related materials] [Text] // Supplement 10 th Metal Forming. – 2004. – P. 371–374.
12. Murata C., Machira T., Futamura S., Endou J. Intelligent control system for direct drive digital servo press [Text] // Proceeding of the 5th International Conference on «Intelligent Proceeding and Manufacturing of Materials»// – IPMM. – № 05. – 2005.

13. Hasegawa K., Endou J., Inada A., Kawachi N. Effect of control of press with eccentric force [Text] // Steel Research International. Special Edition: 13th Metal Forming. – 2010. – Vol.81-9. – P. 690–693.
14. Tatievsky D. N. Control synthesis for the 4ws model of a robot car for movement along a software trajectory. DOI: 10.15587/2312-8372.2019.180504
15. Ioffe M.L. The Ackerman principle and its implementation in modern cars. News of higher educational institutions. Mechanical Engineering #9(738) 2021
16. G. R. Pennock and A. Israr, "Kinematic analysis and synthesis of an adjustable six-bar linkage," Mechanism and Machine Theory, vol. 44 (2), pp. 306-323, 2009.
17. R.-C. Soong, "Analysis of novel geared linkage mechanisms," Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, vol. 8 (3), 2014.
18. B. Liu, Y. Ma, D. Wang, S. Bai, Y. Li and K. Li, "Kinematic Design of a Seven-bar Linkage with Optimized Centroides for Pure-rolling Cutting," Mathematical Problems in Engineering, pp. 1-11, 2017.
19. Jomartov and A. Tuleshov, "Vector method for kinetostatic analysis of planar linkages," Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, vol. 40, pp. 55-69, 2018.
20. A. Tuleshov, A. Jomartov and M. Kuatova, "Annotations of reports of the 7th All-Russian Congress on fundamental problems of theoretical and applied mechanics, August 19-24," in Model dvizheniia krivoshipnogo pressa na baze rychazhnogo mekhanizma 4-go klassa: [The model of the movement of the crank press based on the lever mechanism of the 4th class], Ufa, 2019.

А.К. Тулешов¹, Ж. Т. Айтуганова^{2,3}, А.Ж. Абекова^{1,2}, А.Е. Исмайылов⁴

¹Ө.А. Жолдасбеков атындағы механика және машинатану институты, Алматы, Қазақстан

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

³Алматы технологиялық университет Алматы, Қазақстан

⁴Қазақ мемлекеттік қыздар университеті, Алматы, Қазақстан,

Аккерман шарттарына негізделген мобильді роботты басқару алгоритмдерін әзірлеу

Аңдатпа. Бұл жұмыс қозғалыстың дифференциалдық теңдеулеріне және Аккерман шарттарына негізделген мобильді роботты басқару жүйесін қарастырады. Зерттеудің негізгі мақсаты роботтың айналу бұрышы мен сызықтық жылдамдығын басқара отырып, берілген мақсатты нүктеге тиімді жылжу мүмкіндігін беретін алгоритмді жасау болып табылады. Жұмыс роботтың кеңістікте жүруіне мүмкіндік беретін нысанаға дейінгі қашықтықты және айналу бұрышын есептеу үшін қажетті формулаларды анықтаудан басталады. Содан кейін мақсатты нүктеге дейінгі қашықтыққа негізделген дөңгелектің мен жылдамдық есептеулерін басқару әдістері сипатталады. Бірқалыпты және қауіпсіз қозғалысты қамтамасыз ету үшін әрбір уақыт қадамында робот күйін (координаталар мен бағдарларды) жаңартып отыратын итеративті контроллер жасалады. Жұмыстың маңызды бөлігі Matplotlib кітапханасының көмегімен робот траекториясының графикалық визуализациясын қоса алғанда, Python бағдарлама коды түріндегі алгоритмді

жүзеге асыру болып табылады. Осылайша, жұмыс логистика, ауыл шаруашылығы және ғылыми зерттеулер сияқты әртүрлі салаларда автономды роботтарды жасау үшін пайдалы болуы мүмкін практикалық қолдануда бақылаудың теориялық аспектілерін іске асыруды көрсетеді. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, ұсынылған тәсіл роботқа тиімді маневр жасауға және қоршаған ортадағы өзгерістерге бейімделуге мүмкіндік береді, қозғалыстың жоғары дәлдігін және тапсырмаларды орындау кезінде қауіпсіздікті қамтамасыз етеді.

Түйін сөздер: Мобильді робот, басқару жүйесі, басқару алгоритмі, позициялау, мақсатты нүкте бойынша басқару, қозғалыс параметрлері, радиусы және айналу бұрышы

A.K. Tuleshov¹, Zh.T. Aituganova^{2,3} Abekova A.J^{1,2}, Ismayilov A.E⁴

¹ U.A. Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering, Almaty, Kazakhstan

² Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

³ Almaty Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

⁴ Kazakh State Womans Pedagogical Univer sity, Almaty, Kazakhstan

Development of mobile robot control algorithms based on ackerman conditions

Abstract. In this paper, we consider a control system for a mobile robot based on differential equations of motion and Ackerman conditions. The main purpose of the research is to develop an algorithm that allows the robot to move efficiently to a given target point, while controlling the angle of rotation and linear velocity. The work begins with determining the necessary formulas for calculating the distance to the target and the angle of rotation, which allows the robot to navigate in space. Then are described that allow you to control the angle of rotation of the wheels and speed calculations taking into account the distance to the target point. To ensure smooth and safe movement, an iterative controller is created that updates the robot's state (coordinates and orientation) at each time step. An important part of the work is the implementation of the algorithm in the form of Python program , including graphical visualization of the robot's trajectory using the Matplotlib library. Thus, the work demonstrates the implementation of theoretical aspects of management in practical application, which can be useful for the development of autonomous robots in various fields such as logistics, agriculture and research. The results of the study show that the proposed approach allows the robot to effectively maneuver and adapt to in the environment, ensuring high accuracy of movement and safety of tasks

Keywords: Mobile robot, control system, control algorithm, positioning, target point control, motion parameters, radius and angle of rotation

References

1. Tatievsky, D. N. Control synthesis for a 4WS model of a robotic vehicle following a programmed trajectory. DOI: 10.15587/2312-8372.2019.180504
2. Ioffe, M. L. The Ackermann principle and its implementation in modern vehicles. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Mechanical Engineering, No. 9(738), 2021.
3. Berestova, S. A., Misyura, N. E., Mityushov, E. A. Kinematic control of the movement of wheeled vehicles. Bulletin of Udmurt University. Mathematics. Mechanics. Computer Science,

2015, Vol. 25

4. Kütük M., Halicioglu R., Dülger L. C. Kinematics and Simulation of a Hybrid Mechanism [Text] // MATLAB/SimMechanics «Journal of Physics»: Conference Series. – 01.2016. – Vol 574. – P. 215.
5. Ichikawa K., Murata C., Takahashi T. Nonsimultaneous press forming using 4-axes direct drive digital servo press [Text] // [Procedia Engineering]. Proceedings of the 11th International Conference on Technology of Plasticity. – 2014.
6. Hollerbach J.M. Dynamic Scaling of Manipulator Trajectories [Text] // Trans ASME, J. Dyn. Systems, Measurement and Control. –1984. – P.102-106.
7. Rooney R.H., Shapiro E.Y. The use modal control to minimize errors in the analytical reconstruction of flight control sensor signals [Text] // Proc. IEEE Nat, Aerospace and Electron. Conf. NAECON 1982. Dayton, Ohio, 1982. New York. – 1982. – № 4.
8. Luh J. Y. S., Walker M.W., Paul R. P. On Line – Computational Scheme for Mechanical Manipulators [Text] // Trans. ASME, J. Dyn. Systems, Measurement and Control. – 1980. – Vol. 120. – P. 69-76.
9. Lee C. S. G., Lee B. H., Nigam R. Development of the Generalized d'Alembert Equations of Motion for Mechanical Manipulators [Text] // Proc.2nd Conf. Decision and Control, San Antonio, Tex. – 1983. – P. 1205-1210.
10. Walker M.W., Orin D.E. Efficient Dynamic Computer Simulation of [Text] // Mechanisms Trans. ASME, J. Systems, Measurement and Control. – 1982. – Vol. 104. – P. 205-211
11. Murata C., Endou J., Futamura S. Development of direct drive digital servo press [Steel Grips-Journal and related materials] [Text] // Supplement 10 th Metal Forming. – 2004. – P. 371–374.
12. Murata C., Machira T., Futamura S., Endou J. Intelligent control system for direct drive digital servo press [Text] // Proceeding of the 5th International Conference on «Intelligent Proceeding and Manufacturing of Materials»// – IPMM. – № 05. – 2005.
13. Hasegawa K., Endou J., Inada A., Kawachi N. Effect of control of press with eccentric force [Text] // Steel Research International. Special Edition: 13th Metal Forming. – 2010. – Vol.81-9. – P. 690–693.
14. Tatievsky D. N. Control synthesis for the 4ws model of a robot car for movement along a software trajectory. DOI: 10.15587/2312-8372.2019.180504
15. Ioffe M.L. The Ackerman principle and its implementation in modern cars. News of higher educational institutions. Mechanical Engineering #9(738) 2021
16. G. R. Pennock and A. Israr, "Kinematic analysis and synthesis of an adjustable six-bar linkage," Mechanism and Machine Theory, vol. 44 (2), pp. 306-323, 2009.
17. R.-C. Soong, "Analysis of novel geared linkage mechanisms," Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, vol. 8 (3), 2014.
18. B. Liu, Y. Ma, D. Wang, S. Bai, Y. Li and K. Li, "Kinematic Design of a Seven-bar Linkage with Optimized Centroides for Pure-rolling Cutting," Mathematical Problems in Engineering, pp. 1-11, 2017.
19. Jomartov and A. Tuleshov, "Vector method for kinetostatic analysis of planar linkages," Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, vol. 40, pp. 55-69, 2018.
20. Tuleshov, A. Jomartov and M. Khatova, "Annotations of reports of the 7th All-Russian Congress on fundamental problems of theoretical and applied mechanics, August 19-24," in Model: model of the movement of the crank press based on the lever mechanism of the 4th class], Ufa, 2019.

Сведения об авторах:

Амандық Тулешов Қуатович, д.т.н.академик Институт механики и машиноведения имени академика У.А.Джолдасбекова, улица Шевченко, 29, 050002 г.Алматы, Казахстан. aman_58@mail.ru

Айтуганова Жамила Темірбевна, докторант Казахский Национальный университет им. Аль-Фараби, проспект Аль-Фараби 71,050040, Алматинский технологический университет, Төле би 100, 050061 zhamila

Абекова Айдана Жумагалиевна, докторант, научный сотрудник, Институт механики и машиноведения имени академика У.А.Джолдасбекова, улица Шевченко, 29, 050002 Алматы Қазақстан, abekova310792@gmail.com

Исмайылов Амангелді Есіркегенович, к.т.н., Казахский Национальный Женский Педагогический Университет, улица Гоголя 114/8, Алматы 050000, г.Алматы, Казахстан

Амандық Тулешов Қуатович, т.ғ.д., академик, Ө.А. Жолдасбеков атындағы механика және машинатану институты, Шевченко көшесі 29, 050002 Алматы, Қазақстан, aman.

Айтуганова Жамила Темірбевна, докторант, Әль-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Аль-Фараби даңғылы 71,050040, Алматы технологиялық университет, Төле би көшесі 100, 050061 zhamila_a77@mail.ru

Абекова Айдана Жумагалиевна, докторант, ғылыми қызметкер, Ө.А. Жолдасбеков атындағы механика және машинатану институты, Шевченко көшесі 29, 050002 Алматы, Қазақстан, abekova310792@gmail.com

Амангелді Есіркегенович, к.т.н., Қазақ мемлекеттік қыздар университеті, Гоголя көшесі 114/8, Алматы 050000 Алматы, Қазақстан

Amandyk Tuleshov, doctor of technical sciences, U.A. Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering, Shevchenko street 29, 050002 Almaty, Kazakhstan, aman

Aituganova Zhamila Temirbayevna - doctoral student, Al-Farabi Kazakh National University, Al-Farabi 71,050040 Almaty Almaty Technological University, Tole bi 100, Almaty, Kazakhstan zhamila_a77@mail.ru

Abekova Aidana Zhumagalieva,_doctoral student, researcher, U.A. Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering, , Shevchenko street 29, 050002 Almaty, Kazakhstan, abekova310792@gmail.com

Ismayilov Amangeldi Esirkegenovich, c.t.s, Kazakh State Womans Pedagogical University, 114/8 Gogol Street Almaty, 050000 Kazakhstan, box



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 73.31.41
Обзорная статья

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-151-2-250-261>

Прогнозирование потребности и оптимизация запасных частях для технического обслуживания и ремонта автомобилей

М.Б. Батырбек  , С.Ж. Кабикенов 

Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова

E mail: Moldyr240597@mail.ru

Аннотация. Для обеспечения своевременного и эффективного ремонта автотранспортных средств аварийное инженерное оборудование играет ключевую роль в реализации аварийных ремонтных стратегий. Однако в процессе эксплуатации такого оборудования возможны случайные отказы, что требует разработки адекватных стратегий технического обслуживания и управления запасами запасных частей для поддержания его бесперебойной работы. В дополнение, срочность ремонтных заявок может значительно варьироваться, что влияет на порядок их обслуживания. Существующие исследования редко учитывают влияние степени срочности и приоритетов заявок на процесс ремонта. Для заполнения этих пробелов в данной работе предложена совместная оптимизационная модель стратегий технического обслуживания и управления запасами запасных частей для аварийного инженерного оборудования, используемого при ремонте автотранспорта, с учётом приоритетов заявок. Модель включает два типа оборудования с разными скоростями ремонта: одно обеспечивает ускоренное обслуживание срочных заявок, другое регулярное обслуживание. Используется метод внедрения марковского процесса для вывода вероятностных показателей надёжности системы. С целью максимизации доступности системы оптимизируются количество инженеров по ремонту и стратегия управления запасами запасных частей с помощью метода ветвей и границ. Практические примеры подтверждают эффективность предложенной модели и методов в условиях ремонта автотранспорта.

Ключевые слова. ремонт автотранспорта; аварийное инженерное оборудование; приоритет заявок; стратегия технического обслуживания; управление запасами запасных частей; совместная оптимизация.

Поступила 20.05.2025. Доработана 07.06.2025. Одобрена 19.06.2025. Доступна онлайн 30.06.2025

* автор по корреспонденции

Введение

Автотранспорт, как и любое техническое устройство, подвержен износу в процессе эксплуатации. Несвоевременное или недостаточное техническое обслуживание может привести не только к дорогостоящим поломкам, но и создать угрозу безопасности на дороге. Поэтому системный подход к техническому обслуживанию автомобилей — включающий регулярную диагностику, профилактическую замену расходных материалов и ремонт изношенных узлов — является неотъемлемой частью обеспечения их надёжной и безопасной эксплуатации.

Эффективное управление запасами запасных частей особенно актуально в автомобильной отрасли, где затраты на комплектующие играют значительную роль в общем объёме расходов на эксплуатацию и обслуживание транспортных средств. В течение всего срока службы автомобиля, который может достигать 15–20 лет и более, затраты на запасные части — такие как фильтры, тормозные колодки, детали подвески, электроника и другие — могут составить значительную долю от его первоначальной стоимости[1].

Недостаток необходимых автозапчастей на складе может привести к задержкам в ремонте и техническом обслуживании, что, в свою очередь, вызывает простой автомобиля, особенно критичный для коммерческого транспорта. Это не только приносит прямые убытки владельцу, но и может негативно сказаться на уровне удовлетворенности клиентов, если речь идёт, например, об автосервисах или автопарках, обслуживающих клиентов.

Кроме того, автомобильная промышленность сталкивается с проблемой устаревания запчастей: модели автомобилей обновляются, и комплектующие к устаревшим версиям постепенно выводятся из производства. Без должного управления запасами такие детали нередко списываются и продаются по сниженным ценам, что приводит к финансовым потерям.

Таким образом, грамотно организованная система управления запасами автомобильных запчастей позволяет не только сократить издержки, связанные с хранением и логистикой, но и обеспечить своевременное обслуживание автотранспорта, повысить надёжность и продлить срок его службы.

В целом, эффективное управление запасами запасных частей играет ключевую роль в обеспечении необходимого уровня доступности продукции при одновременном снижении экономических и экологических издержек. Это особенно актуально в контексте технического обслуживания и ремонта автомобилей, где своевременное наличие нужных комплектующих напрямую влияет на скорость и качество обслуживания.

Однако организация складского учета и логистики запасных частей сопряжена с рядом сложностей. Во-первых, автомобильные запчасти характеризуются большим ассортиментом и объемом номенклатуры — от мелких расходных материалов до сложных электронных блоков и агрегатов. Это усложняет процесс хранения, учета и планирования поставок.

Во-вторых, спрос на автозапчасти часто носит нерегулярный и периодический характер, что затрудняет его точное прогнозирование. Такой спрос может зависеть от сезонности, моделей автомобилей, а также от непредвиденных поломок.

В-третьих, потребление запасных частей напрямую связано с интенсивностью эксплуатации автомобиля, его техническим состоянием, а также частотой и качеством проводимого технического обслуживания[2]. Например, несвоевременная замена масла или фильтров может привести к более серьезным повреждениям двигателя, что, в свою очередь, потребует дополнительных деталей и увеличит общие расходы.

Таким образом, в сфере автосервиса и послепродажного обслуживания грамотное управление запасами запчастей позволяет обеспечить бесперебойность ремонтных работ, сократить время простоя автомобилей и повысить уровень удовлетворенности клиентов.

Методология

Стратегии технического обслуживания, широко исследуемые в инженерной практике, находят прямое применение в автомобильной сфере, где своевременное и качественное обслуживание позволяет значительно снизить риск внезапных отказов, сократить расходы на ремонт и повысить общую эффективность использования транспортных средств. Исследователи из Школы электронной коммерции и логистики Пекинского технологического и коммерческого университета (School of E-Business and Logistics, Beijing Technology and Business University) активно занимаются разработкой и совершенствованием различных подходов к техническому обслуживанию и ремонту автомобилей. В частности, Ван и коллеги [3] предложили комплексную стратегию, включающую профилактическое, корректирующее и экстренное обслуживание, ориентированную на узлы и механизмы автомобилей, подверженные внезапным нагрузкам. Подобный подход может эффективно применяться в автомобильной отрасли, где транспортные средства часто эксплуатируются в условиях переменных нагрузок и нестабильных дорожных ситуаций. Кроме того, Дуй и соавт. [4], а также Ли и др. [5] исследовали стратегии профилактического технического обслуживания, адаптированные для промышленных систем и специфических условий эксплуатации, включая дорожные. Эти исследования имеют прямое значение для автомобильной сферы, где регулярное профилактическое обслуживание — замена масла, фильтров, тормозных колодок, диагностика ходовой части и других ключевых компонентов — позволяет предотвратить серьезные поломки и продлить срок службы автомобиля. Также стоит отметить работу Ван и коллег [6], которые предложили методику, сочетающую профилактическое обслуживание с переназначением функционала отдельных компонентов системы, что позволяет сохранять её работоспособность и повышать общую надежность. В контексте автомобильной эксплуатации это может выражаться, например, в адаптации или замене узлов на менее нагруженные в зависимости от текущего технического состояния, что способствует более рациональному использованию ресурса автомобиля и снижению затрат на ремонт.

Помимо естественного износа автомобильных систем и компонентов, в процессе эксплуатации могут происходить случайные поломки, которые часто требуют немедленного вмешательства. Неисправные транспортные средства, неспособные продолжать движение или выполнять свои функции, подлежат ремонту с использованием новых запасных частей. При наличии необходимого запаса деталей на складе восстановительные работы выполняются специалистами по техническому обслуживанию. Однако их количество ограничено — допустим, всего к автомеханикам в автосервисе, — что

означает: если одновременно поступает несколько автомобилей с поломками, часть из них может быть поставлена в очередь на ремонт.

Ситуация усложняется, если запчасти, необходимые для ремонта, отсутствуют на складе. В таком случае, несмотря на наличие свободных специалистов, ремонт невозможен до поступления заказа. Поэтому эффективное управление запасами деталей критически важно для обеспечения бесперебойной работы автосервиса и сокращения времени простоя автомобилей.

Часто в автосервисах применяется стратегия управления запасами по политике (s,S) , которая заключается в следующем: когда количество запасных частей опускается ниже установленного минимального уровня s , размещается заказ на пополнение до максимально допустимого уровня S . Такая система позволяет заранее реагировать на снижение запасов и минимизировать риски задержек в ремонте.

Кроме того, многие автомобили различных марок и моделей могут использовать общие компоненты — такие как фильтры, тормозные колодки, свечи зажигания и т.п. — что позволяет оптимизировать складские запасы за счёт унификации. Однако это также требует чёткой логистики и точного прогнозирования спроса, особенно при сезонных нагрузках или всплесках обращений в автосервис.

Таким образом, организация технического обслуживания и ремонта автомобилей напрямую зависит от грамотного планирования ресурсов — как человеческих, так и материальных. Эффективное взаимодействие между запасами запчастей и доступностью квалифицированного персонала позволяет обеспечить высокую скорость и качество обслуживания, что критически важно как для частных автовладельцев, так и для коммерческих автопарков.

Для устранения выявленных научных пробелов в данной работе исследуется комплексный процесс эксплуатации аварийного инженерного оборудования, предназначенного для удовлетворения потребностей различной срочности. Рассматриваются мероприятия по техническому обслуживанию, а также процессы обеспечения и пополнения запасных частей.

Разработана модель, направленная на совместную оптимизацию стратегии управления запасами запасных частей и количества инженеров, осуществляющих корректирующее техническое обслуживание, с целью максимизации готовности системы. В модели новаторским образом учитывается влияние приоритетности заявок.

Для получения показателей надежности системы и решения построенной оптимизационной модели используются метод вложения марковского процесса и метод ветвей и границ соответственно.

Срочные заявки поступают в систему с интенсивностью $d_1 = 5$ и автоматически обслуживаются оборудованием типа I. Однако из-за возможной занятости оборудования типа I, клиенты могут либо покинуть станцию с вероятностью $P_{10} = 0,5$, либо ожидать в очереди на оборудование типа I с вероятностью $P_{11} = 0,5$.

Несрочные заявки поступают с интенсивностью $d_2 = 4$ и имеют приоритет обслуживания оборудованием типа II. Если оборудование типа II недоступно, клиенты с несрочными заявками могут выбрать одно из следующих действий:

1. покинуть станцию с вероятностью $P_{20} = 0,5$;
2. перейти к обслуживанию на оборудование типа I с вероятностью $P_{21} = 0,25$;

3. ждать в очереди на оборудование типа II с вероятностью $P_{22} = 0,25$.
Максимальная вместимость очереди для обоих типов оборудования составляет по два клиента ($m = 2, n = 2$).

Таблица 1
Сравнительный анализ исследований с предлагаемой моделью

Исследование	Структура системы	Оптимизируемая политика	Методология	Учет приоритетности заявок
[1]	Одноэлементная система	Предупредительное обслуживание и порог заказа запчастей	Стохастическое динамическое программирование и моделирование; метод перебора	Нет
[2]	Резервная система	Предупредительное обслуживание и управление запасами	Моделирование	Нет
[3]	Многокомпонентная система	Обслуживание по техническому состоянию и управление запасами	Генетический алгоритм	Нет
[5]	Параллельная или последовательно параллельная система	Профилактическое обслуживание и запасы [20, 21]; оппортунистическое обслуживание и запасы [22]	Моделирование;	Нет
[7]	k-из-n: F система; Ветроэлектростанция на суше; Двухэлементная последовательная система	Обслуживание по техническому состоянию и управление запасами	Динамическое программирование	Нет
[8]	Сервисная система, ориентированная на использование	Обслуживание по техническому состоянию и управление запасами	Марковский процесс принятия решений и последовательное эвристическое решение	Нет
Настоящая работа	Сервисная система с двумя типами оборудования	Распределение инженеров для корректирующего обслуживания и стратегия управления запасами	Метод вложения марковского процесса и метод ветвей и границ	Срочные заявки имеют более высокий приоритет

С целью наглядного сравнения предыдущих исследований с предлагаемой моделью в Таблице 1 приведён сравнительный анализ.

Необходимость и преимущества использования метода вложения марковского процесса в настоящем исследовании обосновываются его высокой эффективностью в описании сложного процесса функционирования рассматриваемой системы, включающего деградацию оборудования, его обслуживание, пополнение запасных частей и выполнение заявок с учётом их приоритета.

В отличие от метода вложения марковского процесса, применение других математических методов для моделирования и анализа надёжности данной системы затруднено из-за её высокой сложности. Кроме того, метода вложения марковского процесса позволяет аналитически и компактно получить показатели надёжности системы, что делает решение этой сложной задачи возможным [28–30]. Метода вложения марковского процесса получил широкое распространение при моделировании процессов функционирования инженерных систем и оценке их надёжностных характеристик [5].

Например, Wu и др. [7], а также Wang и др. [8] использовали метода вложения марковского процесса для описания процессов деградации сбалансированных систем, учитывая механизмы совместного использования ресурсов и ограниченного перераспределения. Wang и др. [7] с помощью метода вложения марковского процесса вывели формулы надёжности подсистем, подверженных деградации, внешним воздействиям и защитным механизмам.

Что касается методов решения сопутствующих задач оптимизации, в предыдущих исследованиях применялись метод ветвей и границ [7, 8], алгоритм серого волка [9], генетический алгоритм, алгоритм роя частиц и другие. Поскольку предлагаемая задача оптимизации относится к задачам целочисленного программирования, метод ветвей и границ обеспечивает высокую эффективность при их решении. Однако при решении более сложных нелинейных целочисленных задач уместно использовать эвристические методы, например, генетический алгоритм, для получения оптимальных решений.

Ключевые научные результаты настоящей работы можно сформулировать в четырёх положениях:

1. Построена совместная оптимизационная модель стратегии управления запасами запасных частей и стратегий технического обслуживания для сервисной системы, включающей два типа аварийного инженерного оборудования;
2. Учитывается различный приоритет заявок, выполняемых аварийным инженерным оборудованием, в соответствии с реальными условиями эксплуатации;
3. Эффективно применён метод вложения марковского процесса (MPIM) для формализации ряда показателей надёжности системы, включая доступность запасных частей, инженеров по техническому обслуживанию и всей сервисной системы;
4. Успешно применён метод ветвей и границ для решения совместной оптимизационной модели и получения оптимальных совместных решений по стратегии управления запасами запасных частей и распределению инженеров по техническому обслуживанию.

Результаты и Обсуждения

Эффективность построенной модели наглядно демонстрируется и подтверждается численными примерами с применением к реальному инженерному объекту — аварийному зарядному оборудованию.

В системе предусмотрены два типа аварийного зарядного оборудования: оборудование типа I и типа II, обеспечивающее, соответственно, экспресс- и обычные услуги по зарядке. Предполагается, что станция обслуживания состоит из трёх ($u = 3$) единиц оборудования типа I и двух ($v = 2$) единиц оборудования типа II.

В таблице 2 приведены соответствующие настройки параметров.

Таблица 2. Настройки параметров

Параметр	Описание	Значение
d_1	Интенсивность поступления срочных заявок	5
d_2	Интенсивность поступления несрочных заявок	4
P_{10}	Вероятность ухода клиента при отсутствии оборудования типа I	0.5
P_{11}	Вероятность ожидания в очереди на оборудование типа I	0.5
P_{20}	Вероятность ухода клиента при отсутствии оборудования типа II	0.5
P_{21}	Вероятность перехода к оборудованию типа I	0.25
P_{22}	Вероятность ожидания в очереди на оборудование типа II	0.25
η_1	Количество оборудования типа I	9
η_2	Количество оборудования типа II	7
λ_1	Интенсивность отказов оборудования типа I	1.5
λ_2	Интенсивность отказов оборудования типа II	1
ω_1	Интенсивность восстановления оборудования типа I	12
ω_2	Интенсивность восстановления оборудования типа II	10
τ	Интенсивность переходов	9

Дальнейший анализ на основе рисунков 3–7 выполнен при заданных значениях параметров $(s, S) = (4, 5)$ и $k = 5$. Влияние скорости технического обслуживания на показатели надёжности системы показано на рисунке 3. Поскольку влияние параметров ω_1 и ω_2 на показатели надёжности системы схожее, в данном разделе в качестве примера рассматривается только ω_1 .

Как видно на рисунке 3, все значения доступности увеличиваются с ростом ω_1 . Следует отметить, что как доступность запасных частей, так и доступность всей системы значительно возрастают с увеличением ω_1 . Однако темпы роста доступности запасных частей и системы постепенно снижаются. При увеличении ω_1 до 15 доступность инженеров по обслуживанию приближается к 1, а доступность системы и запасных частей достигает 0,83 и 0,97 соответственно.

По мере увеличения скорости технического обслуживания повышается эффективность работы инженеров, что позволяет быстрее выполнять ремонт вышедшего из строя оборудования и способствует росту показателей доступности.

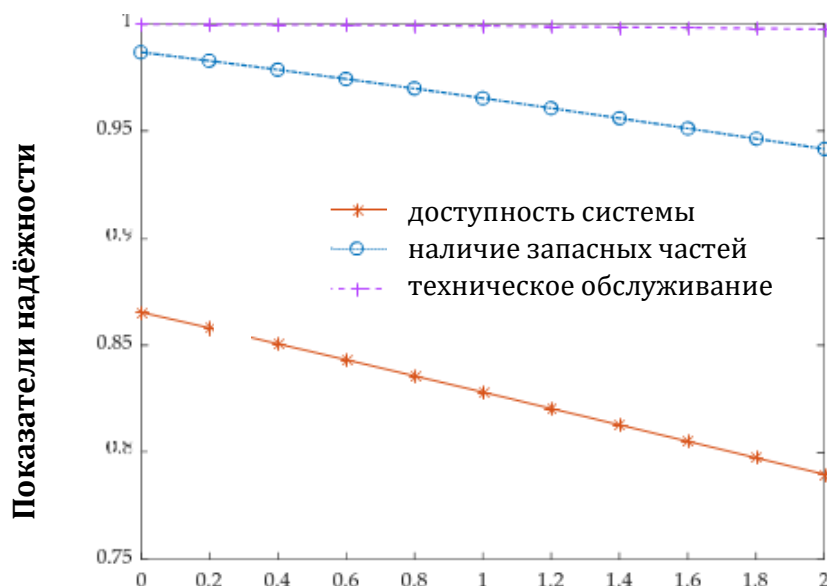


Рисунок 1. Влияние λ_2 на показатели надёжности системы.

Рассматривая показатель отказов оборудования типа II в качестве примера, на рисунке 4 проанализировано влияние интенсивности отказов оборудования на показатели надёжности системы. На рисунке 1 видно, что с ростом интенсивности отказов снижаются доступность системы, доступность запасных частей и доступность инженеров по техническому обслуживанию.

Наиболее заметно изменяется доступность системы, поскольку при увеличении числа неисправного аварийного зарядного оборудования становится невозможным своевременно обслуживать клиентов.

Кроме того, доступность инженеров и запасных частей снижается незначительно при росте интенсивности отказов оборудования. Это связано с тем, что политика своевременного пополнения запасов и достаточное количество инженеров позволяют удовлетворять потребности по замене вышедшего из строя оборудования.

В частности, запасы запасных частей успевают пополняться, а количество инженеров достаточно для обслуживания оборудования, если только интенсивность отказов не становится чрезмерно высокой.

Заключение

В данной работе рассматривается задача совместного определения оптимальных стратегий технического обслуживания и управления запасами запасных частей для аварийного инженерного оборудования с учётом приоритета заявок как принципа,

влияющего на последовательность обслуживания. Конкретно, в модели предусмотрены два типа оборудования, предоставляющие, соответственно, экспресс-обслуживание и обычное обслуживание. Срочные заявки имеют более высокий приоритет обслуживания по сравнению с несрочными при одновременном ожидании в очереди на оборудование экспресс-сервиса, что обусловлено общепринятыми социальными нормами.

С помощью метода внедрения марковского процесса описывается рабочий процесс предложенной системы и аналитически выводятся ряд вероятностных показателей, связанных с надёжностью системы, таких как доступность системы обслуживания, запасных частей и инженеров по обслуживанию.

Далее формулируется совместная оптимизационная модель, цель которой — максимизация доступности системы при ограничениях на доступность инженеров, запасных частей и общий бюджет. Оптимальная численность инженеров и стратегия управления запасами определяются путём решения данной модели с использованием метода ветвей и границ (branch-and-bound).

В завершение приводится инженерный пример аварийного зарядного оборудования, который служит для проверки работоспособности модели и эффективности применённых методов. Кроме того, проводится анализ влияния различных параметров модели на вероятностные показатели надёжности системы посредством комплексного анализа чувствительности.

Перспективные направления дальнейших исследований включают:

- рассмотрение вероятностных результатов технического обслуживания, выполненного инженерами, включая как идеальное, так и неидеальное обслуживание;
- построение более сложной и комплексной модели надёжности, учитывающей множественные приоритеты, что позволит расширить теорию надёжности сложных систем с аварийным инженерным оборудованием.

Вклад авторов

М.Б. Батырбек — формулировка цели исследования, разработка модели прогнозирования потребности в запасных частях, анализ результатов.

С.Ж. Кабикенов — сбор и обработка исходных данных, участие в оптимизации стратегии управления запасами, редактирование и оформление статьи.

Список литературы

1. Ван С.Ю., Чжао С., Ван С.К., Сун Л.П. Надёжность и техническое обслуживание сбалансированных систем с учётом воздействия ударной среды. Reliab. Eng. Syst. Saf. 2020, 195, 106705.
2. Дуй Х.Ю., Ян С.Дж., Фан Я.Н. Методология оценки профилактического обслуживания в многостадийных производственных системах с учётом различных затрат. Int. J. Prod. Res. 2022.
3. Ли Ц.Л., Инь Г.Х., Ван С.Ф., Ян В.С. Автоматическое принятие решений при профилактическом обслуживании дорожного покрытия с использованием глубокого обучения. Autom. Constr. 2022, 135, 104111.
4. Ван С.К., Чжао С., У Ц.С., Ван С.Ю. Совместная оптимизация переназначения компонентов на нескольких этапах и профилактического обслуживания для

- сбалансированных систем с учётом несовершенного обслуживания. Reliab. Eng. Syst. Saf. 2023, 237, 109367.
5. Дун Э.Дж., Гао Т.Л., Чэн Ч.Х., Ван Р.Ц., Бай Ю.С. Стратегия оппортунистического обслуживания сложного оборудования с применением генетического алгоритма с учётом зависимости отказов: двухмерный подход к гарантии. Sensors 2022, 22, 6801.
 6. Ли Х., Хуанг Ц.Г., Соарес К.Г. Стратегии инспекции в реальном времени и оппортунистического обслуживания для плавающих оффшорных ветряных турбин. Ocean Eng. 2022, 256, 111433.
 7. Брук М., Тюнтер Р.Х., де Йонге Б., Велдман Дж. Совместная оптимизация технического обслуживания на основе состояния и оптимизации производства на основе состояния. Reliab. Eng. Syst. Saf. 2021, 214, 107743.
 8. Чжэн Р., Макис В. Оптимальное техническое обслуживание на основе состояния с общим ремонтом и двумя зависимыми режимами отказа. Comput. Ind. Eng. 2020, 141, 106322.
 9. Шен Ц.Й., Цуй Л.Р., Ма Ю.З. Доступность и оптимальная политика технического обслуживания для систем с деградацией в динамических средах. Eur. J. Oper. Res. 2019, 276, 133–143.
 10. Лю Ц.Н., Ма Л., Ван Н.Ц., Чэнь А.К., Цзян Ц.Х. Модель технического обслуживания на основе состояния с учётом множества эффектов обслуживания на зависимые процессы отказов. Reliab. Eng. Syst. Saf. 2022, 220, 108267.
 11. Ян М., Ли Ц.Б., Танг Ю., Сюн М.К. Стратегия технического обслуживания с ориентиром на доступность ключевого оборудования автоматизированной производственной линии с учётом деградации производительности. IEEE Robot. Autom. Lett. 2023, 8, 3182–3189.

М.Б. Батырбек, С.Ж. Қабикиенов

Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті

**Автомобильдерді техникалық қызмет көрсету және жөндеу үшін қосалқы
бөлшектерге қажеттілікті болжау және оңтайландыру**

Аннотация. Автотранспорт құралдарын уақытылы және тиімді жөндеу жұмыстарын қамтамасыз ету үшін төтенше инженерлік жабдықтар апаттық жөндеу стратегияларын жүзеге асыруда маңызды рөл атқарады. Алайда, осы жабдықтарды пайдалану кезінде кездейсоқ ақаулар туындауы мүмкін, бұл оның үздіксіз жұмысын қамтамасыз ету үшін техникалық қызмет көрсету мен қосалқы бөлшектер қорының тиімді басқару стратегияларын әзірлеуді талап етеді. Сонымен қатар, жөндеу өтініштерінің шұғылдылығы айтарлықтай өзгеруі мүмкін, бұл олардың қызмет көрсету тәртібіне әсер етеді. Қазіргі зерттеулер көбінесе шұғылдық дәрежесінің және өтініштердің басымдылығының жөндеу процесіне әсерін ескермейді. Осы олқылықтарды жою мақсатында, бұл жұмыста автокөлікті жөндеу кезінде қолданылатын төтенше инженерлік жабдықтар үшін техникалық қызмет көрсету мен қосалқы бөлшектер қорын басқару

стратегияларының басымдықтарды ескере отырып, бірлескен оңтайландыру моделі ұсынылады. Модель екі түрлі жөндеу жылдамдығы бар екі жабдық түрін қамтиды: біреуі шұғыл өтініштерді жедел қанағаттандыруды, ал екіншісі — қалыпты қызмет көрсетуді қамтамасыз етеді. Жүйенің сенімділік ықтималдық көрсеткіштерін алу үшін Марков процессін енгізу әдісі қолданылады. Жүйенің қолжетімділігін максималдау мақсатында жөндеу инженерлерінің саны мен қосалқы бөлшектер қорын басқару стратегиясы тармақтар мен шекаралар әдісі арқылы оңтайландырылады. Практикалық мысалдар ұсынылған модель мен әдістердің автокөлікті жөндеу жағдайларында тиімділігін растайды.

Түйін сөздер: автокөлікті жөндеу; төтенше инженерлік жабдықтар; өтініштердің басымдылығы; техникалық қызмет көрсету стратегиясы; қосалқы бөлшектер қорын басқару; бірлескен оңтайландыру.

M.B. Batyrbek, S.Zh. Kabikenov

Abylkas Saginov Karaganda Technical University

Forecasting Demand and Optimization of Spare Parts for Maintenance and Repair of Automobiles

Abstract. Emergency engineering equipment plays a key role in implementing emergency repair strategies to ensure timely and efficient maintenance of vehicles. However, random failures of this equipment may occur during operation, necessitating the development of adequate maintenance strategies and spare parts inventory management to ensure its continuous operation. Moreover, the urgency level of repair requests can vary significantly, affecting the order in which they are serviced. Existing studies rarely consider the impact of urgency levels and request priorities on the repair process. To address these gaps, this paper proposes a joint optimization model of maintenance and spare parts inventory strategies for emergency engineering equipment used in vehicle repair, taking into account request priorities. The model includes two types of equipment with different repair speeds: one provides expedited service for urgent requests, while the other handles regular service. The Markov process embedding method is employed to derive probabilistic reliability indicators of the system. To maximize system availability, the number of maintenance engineers and the spare parts inventory strategy are optimized using the branch-and-bound method. Practical examples demonstrate the effectiveness of the proposed model and methods in vehicle repair scenarios.

Keywords: vehicle repair; emergency engineering equipment; request priority; maintenance strategy; spare parts inventory management; joint optimization.

References

1. Wang, X.Y.; Zhao, X.; Wang, S.Q.; Sun, L.P. Reliability and maintenance for performance-balanced systems operating in a shock environment. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 2020, *195*, 106705. [[CrossRef](#)]
2. Dui, H.Y.; Yang, X.J.; Fang, Y.N. Evaluation methodology for preventive maintenance in multi-state manufacturing systems considering different costs. *Int. J. Prod. Res.* 2022.

3. Li, J.L.; Yin, G.H.; Wang, X.F.; Yan, W.X. Automated decision making in highway pavement preventive maintenance based on deep learning. *Autom. Constr.* 2022, 135, 104111. [CrossRef]
4. Wang, S.Q.; Zhao, X.; Wu, C.S.; Wang, X.Y. Joint optimization of multi-stage component reassignment and preventive maintenance for balanced systems considering imperfect maintenance. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 2023, 237, 109367. [CrossRef]
5. Dong, E.Z.; Gao, T.L.; Cheng, Z.H.; Wang, R.C.; Bai, Y.S. Opportunistic maintenance strategy for complex equipment with a genetic algorithm considering failure dependence: A two-dimensional warranty perspective. *Sensors* 2022, 22, 6801. [CrossRef]
6. Li, H.; Huang, C.G.; Soares, C.G. A real-time inspection and opportunistic maintenance strategies for floating offshore wind turbines. *Ocean Eng.* 2022, 256, 111433. [CrossRef]
7. Broek, M.; Teunter, R.H.; de Jonge, B.; Veldman, J. Joint condition-based maintenance and condition-based production optimization. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 2021, 214, 107743. [CrossRef]
8. Zheng, R.; Makis, V. Optimal condition-based maintenance with general repair and two dependent failure modes. *Comput. Ind. Eng.* 2020, 141, 106322. [CrossRef]
9. Shen, J.Y.; Cui, L.R.; Ma, Y.Z. Availability and optimal maintenance policy for systems degrading in dynamic environments. *Eur. J. Oper. Res.* 2019, 276, 133–143. [CrossRef]
10. Liu, Q.N.; Ma, L.; Wang, N.C.; Chen, A.K.; Jiang, Q.H. A condition-based maintenance model considering multiple maintenance effects on the dependent failure processes. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 2022, 220, 108267. [CrossRef]
11. Dui, H.Y.; Zhang, C.; Tian, T.Z.; Wu, S.M. Different costs-informed component preventive maintenance with system lifetime changes. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 2022, 228, 108755.

Информация об авторах

М.Б. Батырбек — докторант кафедры «Транспортная техника и логистика», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова.

С.Ж. Кабикенов — к.т.н, доцент кафедры «Транспортная техника и логистика», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова.

М.Б. Батырбек — Абылас Сагинов атындағы Қарағанды техникалық университетінің «Көлік техникасы және логистика» кафедрасының докторанты.

С.Ж. Кабикенов — техникалық ғылымдар кандидаты, «Көлік техникасы және логистика» кафедрасының доценті, Абылас Сагинов атындағы Қарағанды техникалық университеті.

M.B. Batyrbek — Doctoral student at the Department of Transport Engineering and Logistics, Abylka Saginov Karaganda Technical University.

S.Zh. Kabikenov — Candidate of Technical Sciences, Docent at the Department of Transport Engineering and Logistics, Abylka Saginov Karaganda Technical University.



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



IRSTI 67.11.03

Article

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-151-2-262-280>

Innovative solutions of geotechnical seismic isolation with application of ground rubber for protection of architectural monuments

S. Niyetbay¹ , Y. Bessimbayev² , I. Tashmukhanbetova*¹ ,
Sh. Toleubayeva¹ , A. Tleubayeva*¹ 

¹International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan

²Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan

E mail: akmaral_alim@mail.ru, indiraberkinbaykyzy@gmail.com

Abstract. This study investigates the application of geotechnical seismic isolation as a feasible and effective strategy for safeguarding architectural heritage sites against seismic hazards. Particular attention is given to the advantages of this approach, including the preservation of structural integrity and historical authenticity, minimal intrusion into existing constructions, and the use of durable, long-lasting materials. The paper examines various seismic mitigation techniques, such as the integration of isolation layers, damping interfaces, shock-absorbing elements, and specialized foundation systems. Case studies of successful applications in culturally valuable structures are presented to support the practical relevance of the proposed methods. The research further emphasizes the importance of advanced engineering solutions in reducing seismic vulnerability, especially in tectonically active regions. A central focus is placed on the use of soil-rubber composite layers as a seismic isolation medium. Experimental results demonstrate a substantial reduction in ground motion amplitudes, thereby enhancing both the resilience and service life of protected buildings. Overall, the findings establish geotechnical seismic isolation as a promising component of modern earthquake-resistant design, requiring a multidisciplinary approach that accounts for engineering, geological, and economic considerations.

Key words: geotechnical seismic isolation; soil-rubber composite; cultural heritage preservation; experimental testing; compaction device; accelerometric evaluation; seismic vibration amplitude.

Introduction

The protection of architectural heritage from seismic hazards remains a critical and evolving concern in the broader context of cultural preservation and structural resilience. Historic structures, often characterized by unique construction techniques, rare materials, and age-related degradation, are inherently more susceptible to damage from seismic activity. Unlike modern buildings, these monuments typically lack standardized reinforcements or seismic-resistant features, which amplifies their vulnerability to earthquake-induced forces. In light of the growing frequency and intensity of seismic events in many regions of the world, there is an urgent need for advanced engineering solutions that are both effective and respectful of the historical value of these structures.

Among the emerging strategies addressing this issue, geotechnical seismic isolation has proven particularly promising. This method involves the installation of subsurface energy-dissipating systems that interrupt or attenuate seismic waves before they reach the superstructure. By reducing the amplitude and transmission of ground vibrations, such systems effectively limit the internal stresses experienced by heritage buildings during earthquakes. A major advantage of geotechnical isolation is its non-intrusive nature: it does not require extensive modification to the visible parts of a monument, thereby helping to preserve the authenticity, form, and aesthetic integrity of historically significant architecture.

Over the past decade, various configurations of geotechnical seismic isolation have been examined through computational modeling and laboratory experiments. These investigations have covered a wide range of materials and structural setups. For example, Forcellini and Chiaro [1] conducted parametric studies using the OpenSees platform to simulate the dynamic response of gravel-rubber composite layers under cyclic loading. Their work highlighted how the inclusion of different percentages of crumb rubber (10%, 25%, 40%) could significantly influence energy dissipation capacity, with higher rubber content generally yielding better damping performance.

In parallel, sustainable and eco-friendly solutions have gained prominence, particularly in the context of green construction. Several studies have explored the use of layered systems combining gravel and recycled rubber—materials that are not only readily available but also environmentally responsible. When placed beneath reinforced concrete foundations, these composite layers act as passive isolation mechanisms, effectively filtering seismic energy before it propagates upward. Empirical results from shake table tests and numerical models consistently demonstrate that such systems contribute to a measurable reduction in peak ground acceleration, lateral displacement, and base shear forces [2], all of which are critical parameters in maintaining the structural safety of heritage assets.

Banović [3] conducted a series of shake-table experiments aimed at evaluating the performance of geotechnical isolation layers under controlled seismic conditions. These experiments specifically focused on the influence of critical parameters—such as the thickness of the isolation layer, the degree of compaction, and the moisture content—on the seismic behavior of overlying structures. By systematically varying these parameters and subjecting the scaled models to different levels of peak ground acceleration (PGA), the study was able to provide detailed insight into how these factors affect the damping characteristics and overall effectiveness of the isolation system. The results demonstrated that optimal layer design—particularly with respect to compaction and thickness—can significantly enhance seismic energy dissipation.

Similarly, Jing [4] introduced an innovative multilayered seismic isolation configuration that utilized alternating layers of sand and glass beads. This composite system aimed to leverage the granular mechanics and frictional behavior of dissimilar materials to attenuate seismic energy more effectively. Through scaled vibration testing, including scenarios simulating real seismic events such as the 1940 El Centro earthquake, the proposed system was shown to perform well under various input intensities. The multilayer arrangement helped to decouple seismic waves and reduce transmission to the superstructure, validating the concept as a feasible seismic mitigation technique.

In a complementary line of investigation, Zhang [5] explored the mechanical properties of gravel-based isolation layers modified with recycled rubber particles. The study focused on how the inclusion of rubber affects the shear modulus and damping ratio of the soil matrix. Findings indicated that while the composite exhibited a reduction in shear stiffness, it gained enhanced damping capabilities—a trade-off that, in seismic contexts, favors energy absorption and reduced force transmission. This confirmed the potential of recycled materials not only as sustainable construction components but also as effective elements in seismic protection systems.

Building upon these foundations, numerous other studies [6–11] have confirmed the effectiveness of low-cost and accessible materials in seismic isolation. Approaches involving sand cushions, glass-enhanced granular layers, and other geotechnically modified fills have been shown to substantially decrease the dynamic response of structures when applied thoughtfully. Such strategies are particularly valuable in regions with limited financial resources or where minimal intervention is preferred due to the cultural value of heritage sites.

Geotechnical seismic isolation technologies have progressed beyond experimental validation and are now increasingly being implemented in real-world conservation and structural retrofitting projects. These solutions have proven their viability through successful applications in the protection of culturally significant buildings. For instance, vibration-isolating layers were integrated during the structural reinforcement of the Romanov Chamber in Moscow. This intervention contributed significantly to the building's improved seismic performance while maintaining the integrity of its historical and architectural elements. Notably, no invasive alterations were made to the building's original masonry or decorative components, demonstrating the compatibility of geotechnical isolation with the requirements of heritage conservation. Similarly, a comprehensive geotechnical isolation system was installed beneath the Belém Tower in Lisbon, a prominent UNESCO World Heritage Site. The system included custom-designed subsurface isolation elements that were installed with minimal disruption to the structure. Long-term monitoring of seismic behavior following the intervention confirmed a marked reduction in dynamic response, validating the effectiveness of this technology under field conditions. These case studies highlight the capacity of geotechnical isolation to deliver targeted, minimally invasive, and context-sensitive seismic protection for historically important structures. The integration of such systems into cultural preservation efforts marks a significant step forward in harmonizing engineering innovation with conservation ethics.

Given the increasing seismic risks faced by architectural heritage worldwide, especially in tectonically active regions, geotechnical seismic isolation (GSI) is emerging as one of the most adaptable and promising strategies for structural protection. Unlike traditional retrofitting methods that often require intrusive interventions—such as reinforcement of walls, installation of dampers, or structural bracing—GSI focuses on modifying the dynamic interaction between the structure and its foundation soil. By implementing isolation systems below ground level, it of

becomes possible to preserve the original facades, load-bearing components, and artistic elements of heritage buildings. This subsurface approach is especially valuable in conservation contexts where aesthetic, historical, and material authenticity must be maintained. Furthermore, the modular and scalable nature of GSI makes it suitable for a wide range of foundation types, soil profiles, and urban settings, including locations with strict regulatory or spatial constraints.

Within this innovative framework, the present study investigates the performance of engineered soil-rubber composites as a viable seismic isolation material. These composites, produced by blending natural granular soils with rubber particulates—typically derived from recycled automotive tires—exhibit enhanced damping properties and high energy absorption capacity. These characteristics are critical for mitigating seismic vibrations before they reach the building's superstructure. The rubber inclusions confer viscoelastic behavior to the soil matrix, enabling greater dissipation of vibrational energy through internal friction and deformation. The goal of the research is to evaluate how effectively these materials reduce seismic impact, especially when applied beneath foundations of heritage buildings located in seismically active zones, where structural vulnerabilities are often pronounced.

To achieve a comprehensive assessment, the study employs a dual-method approach that integrates experimental testing with numerical simulations. Controlled laboratory tests allow for the observation of dynamic behavior under standardized conditions, while computational modeling facilitates the analysis of complex soil-structure interactions and the extrapolation of results to full-scale scenarios. Through this methodology, the study aims to validate the soil-rubber composite as a cost-effective, sustainable, and minimally invasive alternative to conventional seismic isolation systems. The research contributes to the growing body of literature focused on sustainable seismic mitigation and seeks to support interdisciplinary collaboration between geotechnical engineers, structural preservationists, and policymakers in the domain of cultural heritage protection [12–17].

One notable recent advancement in the field of geotechnical seismic isolation (GSI) involves the development and application of non-invasive soil modification techniques, particularly the injection of polyurethane into subsoil layers. This innovative method is designed to enhance the seismic performance of foundations without requiring alterations to the aboveground structure, making it highly compatible with aging infrastructure and historically significant buildings. The technique is especially advantageous for heritage preservation, as it minimizes physical interference with the structure's visible and cultural elements. In a comprehensive study by Zhang et al. (2025), a refined approach to non-intrusive GSI was introduced, wherein carefully controlled injections of polyurethane altered the mechanical properties of the soil, shifting the natural vibration period of the site away from the dominant frequencies of seismic input. This strategic decoupling effectively reduced resonance risks. The methodology was validated through a combination of laboratory resonance column tests and nonlinear dynamic time-history analyses using the OpenSees platform. Results confirmed a substantial decrease in seismic response, particularly in deteriorated and corrosion-affected bridge piers. By extending the natural period of the soil-structure system and redistributing seismic energy more evenly, this method provides long-term protection throughout a structure's service life. While originally developed for bridge foundations, the underlying principles and benefits of this technique may be readily adapted to heritage structures, offering a minimally invasive, sustainable, and lifecycle-effective seismic mitigation solution that fully respects the constraints of conservation practice [18].

Expanding the scope of non-intrusive GSI solutions, recent research has also explored the use of engineered granular damping layers composed of recycled and composite materials. These systems aim to attenuate seismic waves within the subsurface before they impact the structure. For example, Yang et al. (2024) proposed a multi-layered soil system integrating lightweight expanded aggregates and polymeric inclusions. Their findings, supported by shake-table experiments and finite element simulations, showed that such configurations effectively reduce peak ground acceleration and limit stress wave propagation through the soil column. Due to their modularity and ease of installation, these layered damping systems are particularly suited for deployment beneath existing foundations with minimal excavation or disruption to the superstructure. This makes them attractive options for the seismic retrofitting of historically sensitive buildings, where reversibility and non-invasiveness are core conservation principles [19].

In parallel, continued innovation in geotechnical seismic isolation has led to the exploration of hybrid systems that combine soil reinforcement with layered energy-dissipating barriers. For instance, researchers have investigated the strategic placement of geosynthetic-reinforced granular soils with variable stiffness across depth profiles. These hybrid systems alter the impedance profile of the soil and introduce controlled interfaces that reflect or absorb seismic energy. The result is a delay in wave transmission and a reduction in peak ground motion intensity. Such systems, by tailoring the mechanical impedance across layers, enable efficient control of vibration paths without compromising the surrounding built environment. These advancements reinforce the role of geotechnical seismic isolation as a sustainable and adaptable solution for seismic resilience, particularly in urban zones where heritage structures coexist with modern infrastructure and where direct structural intervention is either undesirable or restricted [20].

Taken together, these advancements underscore a growing consensus within the engineering and conservation communities: geotechnical seismic isolation offers a compelling balance between structural safety and cultural preservation. Whether implemented through layered damping systems or in-situ soil modification, these techniques provide effective mitigation of seismic forces while maintaining the physical and aesthetic integrity of heritage buildings. Against this backdrop, the present study contributes to this evolving field by evaluating the performance of soil-rubber composite layers as a geotechnical isolation solution. Through carefully designed laboratory experiments and quantitative analysis of seismic response, the research aims to demonstrate the material's effectiveness in reducing vibrational transmission. The outcomes are expected to inform future applications of sustainable and minimally invasive seismic protection strategies, particularly in the context of safeguarding irreplaceable architectural heritage.

The methodology

The application of geotechnical seismic isolation represents a scientifically grounded and practically efficient approach to mitigating both vibrational effects and structural deformations resulting from seismic activity. This methodology has gained increasing relevance in the field of structural preservation, particularly when it comes to safeguarding cultural heritage buildings. In such contexts, any intervention must carefully balance the goals of enhancing structural resilience with the imperative to preserve historical authenticity and cultural significance. Many monuments are constructed from age-sensitive materials or using traditional construction techniques that are highly susceptible to damage from conventional retrofitting methods. Therefore, the selection of

non-intrusive isolation solutions becomes not only preferable but often essential for long-term conservation.

One of the principal advantages of geotechnical seismic isolation lies in its subsurface implementation, which allows for the strategic placement of isolation layers beneath the foundation or base slab without necessitating physical alteration to the existing superstructure. This non-invasive characteristic is of paramount importance in heritage conservation efforts, as it enables the retention of original architectural elements, including load-bearing components, decorative façades, and interior artistic finishes that contribute significantly to the historical and cultural value of the structure. Furthermore, the use of engineered composite materials—such as soil-rubber mixtures formed from granular soils and recycled elastomeric particles—enhances the durability, elasticity, and energy dissipation capacity of the isolation system. These materials are specifically designed to perform under cyclic loading conditions typical of seismic events, ensuring long-term functionality and reliability under both moderate and extreme seismic influences.

To rigorously assess the performance of the proposed seismic isolation strategy, a comprehensive series of controlled laboratory experiments was undertaken. The experimental design was centered around evaluating the dynamic response behavior of a custom-formulated soil-rubber composite, prepared by integrating granular soil with shredded rubber particles sourced from recycled tires. This specific composition was selected based on its advantageous viscoelastic properties, which are known to offer significantly higher damping ratios and energy absorption capacity compared to conventional or untreated soil matrices.

The physical test setup featured a scaled structural model placed atop a layered foundation, with two key configurations being systematically examined: a reference model with no isolation layer and an experimental model incorporating the composite isolation layer. Both setups were subjected to simulated seismic excitations using a calibrated vibration platform, replicating ground motions of varying intensity and frequency content. Key parameters, such as vibration amplitude, acceleration response, and frequency-domain characteristics, were monitored using a network of high-precision sensors and data acquisition systems. Figure 1 provides a schematic representation of the experimental layout, indicating the positioning of the soil-rubber composite layer and instrumentation used for real-time data collection.

The central objective of this investigation was to quantify the degree of vibration reduction and energy attenuation afforded by the composite isolation layer. By systematically comparing the seismic responses of the two configurations under identical loading conditions, the study sought to isolate the effectiveness of the engineered material in filtering and dissipating seismic energy before it could reach the superstructure. The collected experimental data were analyzed using both time-domain and frequency-domain techniques to evaluate not only the damping efficiency and deformation control characteristics of the material, but also to assess its practical viability for deployment in actual heritage preservation projects located in active seismic regions. The results obtained from these tests provide valuable empirical evidence supporting the adoption of geotechnical isolation as a feasible, minimally invasive, and sustainable method for enhancing seismic resilience in culturally significant structures.

During the laboratory testing phase, the soil-rubber composite material was prepared and compacted using a standardized laboratory compaction method, following technical guidelines and procedural specifications derived from the SOYUZDORNII Research Institute, which is recognized for its protocols in geotechnical and road construction materials testing. The composite mixture

was composed of pre-weighed proportions of granular soil and crumb rubber, ensuring consistency in particle size distribution and homogeneity across samples.



Figure 1. Engineering composite consisting of soil and shredded rubber (ground rubber)

To simulate realistic installation conditions and to achieve reproducible results, the prepared material was introduced into a custom-fabricated cylindrical mold, designed specifically for the purpose of this study. This mold differed from conventional Proctor compaction molds in both diameter and depth, allowing for the accommodation of layered placement and measurement instrumentation. The mold's dimensions were selected to comply with the scaling requirements of the experiment and to facilitate observation of vertical and lateral compaction behavior.

The experimental procedure was executed in a multi-stage format to control compaction quality and material consistency. During the initial phase, the cylindrical container—exceeding the diameter of traditional compaction molds—was carefully set up on a vibration-isolated platform. The composite material was then placed into the container in three to five equal lifts, each approximately 3–5 cm thick. After each lift, the material was compacted using a mechanical rammer, applying uniform energy across the surface to eliminate air voids and achieve targeted density levels consistent with field conditions.

Particular attention was paid to achieving uniform compaction across the entire volume of the sample, as inconsistencies in density could influence the dynamic response characteristics during vibration testing. Instrumentation was embedded at designated depths to monitor compaction progress and to collect data during subsequent seismic simulation phases. Figure 2 shows the mold assembly and the layer-wise compaction process.

This rigorous approach ensured that the physical properties of the test specimens, such as bulk density, moisture content, and rubber dispersion, remained within predefined tolerance limits, providing a solid foundation for reliable interpretation of the dynamic testing results.

To accurately record the dynamic behavior of the composite specimen under simulated seismic excitation, a precision acceleration sensor of model VS 111 was employed. This sensor is equipped with integrated electronics and operates according to the ICP (Integrated Circuit Piezoelectric, also known as IEPE) standard, which ensures compatibility with a wide range of signal conditioning and acquisition systems. The VS 111 model offers a sensitivity of 10 mV/g, enabling detection of subtle changes in acceleration, and functions effectively across a broad frequency range of 0.5 to 15,000 Hz, making it suitable for capturing both low-frequency tremors and high-frequency components of seismic events.

Prior to testing, the accelerometer was carefully calibrated in accordance with the manufacturer's specifications, and its output was verified using a reference vibration source.



Figure 2. Sample compaction device made according to the typical design developed by the Research Institute “SOYUZDORNII”

The sensor was then securely affixed to the surface of the compacted soil–rubber composite, ensuring tight coupling and minimizing any potential signal distortion due to slippage or misalignment during impact events.

To simulate a seismic-like event in a controlled laboratory environment, a mechanical impact method was used. An impulsive load was generated by dropping a 450-gram steel weight from a height of 25 centimeters directly onto the surface of the compacted specimen. This loading technique was selected due to its simplicity, repeatability, and its ability to generate short-duration high-energy impulses, which are representative of the transient forces observed during the early phases of an earthquake.

The vertical impact induced a stress wave propagation through the composite layer, triggering vibrational responses akin to those experienced during seismic excitation. By maintaining consistent drop height and mass, it was possible to generate comparable input energy across all test cycles, thus ensuring the repeatability and reliability of the experimental results.

The analog output from the VS 111 accelerometer, representing the real-time vibration response of the sample, was transmitted via shielded coaxial cable to a ZET 017-U8 spectrum analyzer. This high-precision data acquisition system is capable of capturing vibrational signals with a frequency resolution of up to 20 kHz and features a dynamic range of 80 dB, allowing it to detect both minor fluctuations and more significant acceleration spikes with high accuracy.

The analyzer digitized the incoming signals and recorded them over a duration of approximately one second per impulse, which encompassed the full decay period of the induced vibration. The recorded waveforms were then exported for further processing, including Fourier transform analysis, peak amplitude extraction, and comparison across different specimen configurations. Figure 3 provides a schematic overview of the instrumentation setup, highlighting the sensor placement, impact mechanism, and signal transmission path.

This comprehensive instrumentation and data acquisition protocol ensured high fidelity in capturing the seismic isolation behavior of the soil–rubber composite and laid the foundation for a robust interpretation of the isolation system's performance characteristics.

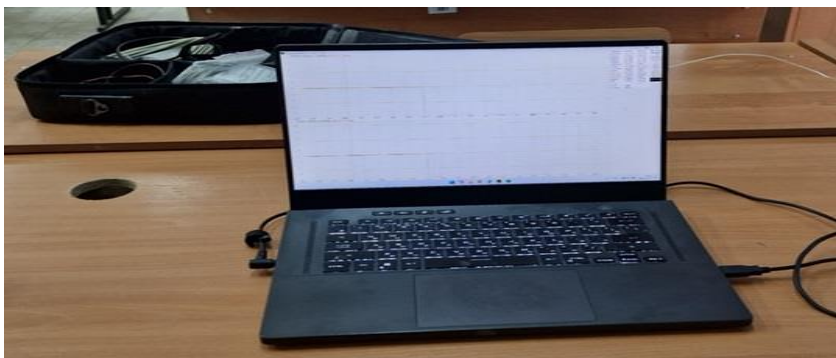


Figure 3. Zetlab program designed for vibration signal analysis

The impact of impulse vibration was assessed by analyzing the recorded peak acceleration value.

Findings/Discussion

The results of the dynamic testing are graphically presented in Figures 4 and 5, which depict the recorded acceleration amplitude profiles for two experimental configurations: one using unmodified natural soil, and the other incorporating the engineered soil–rubber composite layer. The time histories span an observation window of 0.5 seconds, which adequately captures the initial impact event and the subsequent attenuation behavior of the materials.

In the case of the natural soil specimen, the measured peak ground acceleration (PGA) reached a maximum value of 13.85 m/s^2 , indicating a relatively low damping capacity and minimal energy dissipation following the applied impulsive load. The acceleration curve for this configuration shows a sharp peak followed by a gradual decay, characteristic of systems with limited internal energy absorption mechanisms. This suggests that seismic energy is more readily transmitted through the unmodified soil medium, posing greater risk to overlying structures.

Conversely, the sample that incorporated the soil–rubber composite layer demonstrated a markedly different response. The peak acceleration was significantly reduced to 8.75 m/s^2 , representing a 36.83% decrease compared to the natural soil configuration. This notable reduction in amplitude clearly illustrates the damping effectiveness of the composite material, which absorbs and disperses seismic energy more efficiently due to the viscoelastic behavior of the rubber component.

The observed attenuation is attributed to several factors: (1) the increased hysteretic damping introduced by the rubber particles, (2) the disruption of wave propagation paths through heterogeneous interfaces within the composite, and (3) the frictional energy loss resulting from particle movement under dynamic stress. These mechanisms act synergistically to lower the amplitude and duration of transmitted vibrations.

Taken together, the experimental findings validate the hypothesis that soil–rubber composites can serve as effective geotechnical seismic isolation layers, particularly in scenarios

where traditional structural interventions are either infeasible or undesirable due to cultural preservation constraints. The reduced acceleration response translates into lower inertial forces acting on the foundations of heritage structures, thereby improving their seismic resilience without compromising architectural authenticity.



Figure 4. Graph of accelerations recorded on natural soil

Figure 5 provides a comparative visualization of the peak vibrational amplitude recorded for two different foundation materials: untreated natural soil and the soil-rubber composite (gruntoresina).



Figure 5. Acceleration diagram obtained during the testing of ground rubber

The horizontal axis indicates the six experimental runs, while the vertical axis reflects the maximum acceleration values (in m/s^2) observed during each trial. For each configuration, the displayed values represent the average of four individual measurements, ensuring statistical consistency and reducing the influence of random deviations.

The results reveal a clear and consistent trend: across all six experiments, the samples composed of natural soil demonstrated higher peak acceleration values, ranging between 13.45 and 14.3, with an average near 13.87 m/s^2 . In contrast, the specimens containing rubber-modified

soil exhibited significantly reduced acceleration amplitudes, falling within the 8.21 to 9.28 range, with a mean value of approximately 8.75 m/s^2 .

This substantial reduction — on the order of 35–40%, depending on the experimental run — illustrates the superior damping capacity of the composite material. The incorporation of crumb rubber introduces viscoelastic properties into the soil matrix, which effectively transforms part of the vibrational energy into heat and internal friction, rather than allowing it to propagate through the medium.

Additionally, the low error margins indicated atop the bars suggest that the measurements are both precise and repeatable, lending further credibility to the conclusion that soil–rubber composites function as reliable seismic mitigation layers. The overall downward shift in amplitude observed for the modified samples underscores their capacity to attenuate input motion, which is essential for protecting structures—particularly those of historical or architectural significance—against dynamic seismic forces.

These findings validate the use of engineered fill materials in geotechnical seismic isolation systems, particularly in cases where traditional structural retrofitting is not feasible. By substantially reducing vibrational transfer from the ground to the structure, such composites contribute to enhanced seismic safety and resilience while maintaining compatibility with heritage preservation requirements.

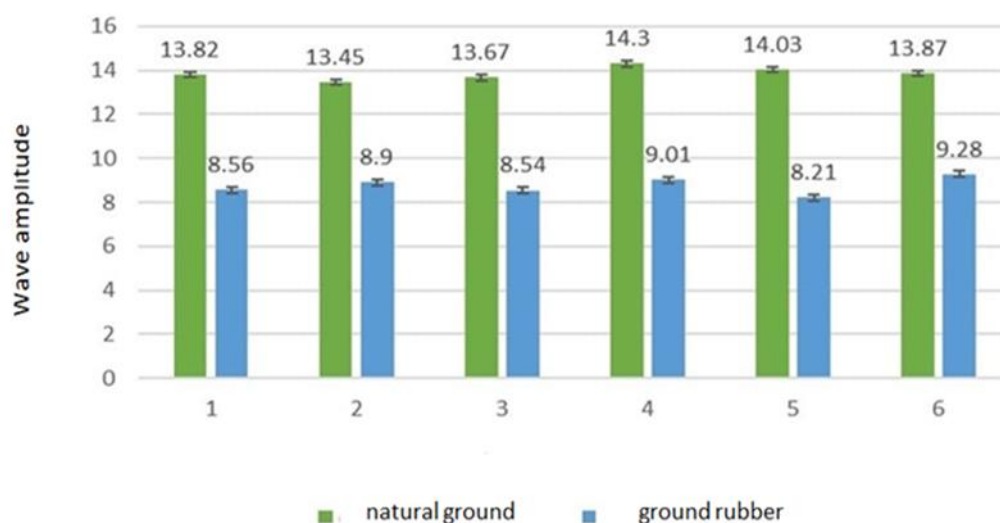


Figure 6. Vibration amplitude values for natural soil and rubber-based composite

Figure 6 presents a quantitative comparison of the average peak acceleration values recorded during six independent tests, clearly illustrating the performance difference between natural soil and the soil–crumb rubber composite. As shown in the graph, the average peak acceleration for samples with the composite layer was 8.75 m/s^2 , compared to 13.85 m/s^2 for untreated soil. This represents a 36.83% reduction in seismic vibration amplitude, underscoring the composite material's superior ability to attenuate dynamic ground motion.

Such a significant decrease in vibrational response confirms the high damping efficiency of the soil–rubber mixture. The result can be attributed to the inherent viscoelastic behavior of the rubber inclusions, which absorb and dissipate seismic energy through internal friction and

hysteresis. Additionally, the heterogeneity introduced by the composite structure contributes to scattering and diffusing wave energy, thereby reducing its impact on the overlying structure.

These findings are particularly relevant for the seismic protection of architecturally and culturally valuable heritage sites, where minimal intervention and preservation of original materials are paramount. The demonstrated effectiveness of the composite material provides a compelling argument for its real-world implementation in geotechnical seismic isolation systems, especially in scenarios where traditional retrofitting may be invasive, cost-prohibitive, or structurally incompatible.

Furthermore, the consistency of the results across all six experiments indicates that the material behavior is stable and reproducible, which is a crucial prerequisite for field application. The evidence presented lays a robust foundation for future studies, including scaled physical modeling, long-term field performance monitoring, and the optimization of material ratios for specific soil types and seismic profiles.

In conclusion, the soil-crumb rubber composite not only enhances seismic resilience but also represents a sustainable, cost-effective, and minimally invasive solution for protecting vulnerable structures in seismically active regions. Its integration into modern geotechnical design frameworks holds considerable promise for advancing earthquake-resistant construction practices.

Conclusion

The outcomes of this experimental study provide strong evidence in support of using soil-rubber composite materials as an effective geotechnical seismic isolation solution. The findings are of particular importance in the context of heritage preservation, where conventional retrofitting techniques may be either technically infeasible or undesirable due to their invasive nature. By leveraging the damping properties of crumb rubber, the proposed approach offers a sustainable, low-cost, and minimally disruptive alternative to enhance the seismic resilience of critical structures.

Laboratory simulations under controlled dynamic loading revealed a consistent and significant reduction in peak ground acceleration when soil-rubber composites were employed. The recorded data showed that the average vibration amplitude was reduced by 36.83%, indicating a marked improvement in energy dissipation capacity. This reduction is not only statistically significant but also practically meaningful, as it translates into lower seismic loads transferred to superstructures, which can mitigate structural damage and preserve serviceability during seismic events.

From a materials science perspective, the improved performance of the composite is attributable to the viscoelastic behavior of rubber, which introduces hysteretic damping and internal friction mechanisms into the soil matrix. These characteristics allow the composite to absorb and disperse seismic energy more efficiently than natural soil alone. Additionally, the heterogeneity of the material, resulting from the presence of rubber particles, alters wave propagation paths and increases scattering, further contributing to its attenuation capacity.

The advantages of this technique extend beyond performance metrics. The approach is also environmentally responsible, as it encourages the reuse of waste rubber materials, such as shredded tires, thus addressing both seismic safety and ecological concerns. Moreover, the method

non-invasive nature means it can be implemented without altering the original design, appearance, or materials of heritage buildings—an essential requirement in restoration and conservation practice.

These results lay the groundwork for a new generation of foundation isolation strategies, particularly suitable for historically valuable structures, public buildings, museums, and cultural landmarks situated in seismic zones. However, to translate these laboratory-scale findings into field-ready applications, further research is required. This includes:

- Long-term monitoring of full-scale systems under real seismic events;
- Evaluation of performance under varied environmental and geological conditions;
- Study of the effects of different rubber content ratios, particle sizes, and soil types;
- Development of design guidelines and standards for practitioners;
- Numerical modeling and simulation using advanced finite element tools to complement physical testing.

In addition, interdisciplinary collaboration among civil engineers, material scientists, seismologists, and heritage conservation specialists will be essential to develop implementation protocols that align with both structural performance requirements and conservation ethics.

In conclusion, the integration of soil-rubber composites into seismic isolation practice represents a technically sound, environmentally friendly, and culturally sensitive innovation. As climate change and urbanization continue to increase the vulnerability of existing structures to natural hazards, the need for such forward-looking and adaptable solutions becomes more urgent. The present study not only validates the concept at the laboratory scale but also opens up a promising avenue for future implementation and standardization within the broader field of resilient infrastructure development.

Authors' contribution

Niyetbay S.E., Besimbayev E.T. - concept, methodology, data analysis, writing the text, approval of the final version.

Tashmukhanbetova I.B. - conducting experiments, writing the text, technical revision.

Tleubaeva A.K. - data collection, calculation part, technical revision.

Toleubaeva Sh.B. - data analysis, interpretation of results.

References

1. Forcellini, D., Chiaro, G., Palermo, A., Banasiak, L., Tsang, H.H. Energy Dissipation Efficiency of Geotechnical Seismic Isolation with Gravel-Rubber Mixtures: Insights from FE Non-Linear Numerical Analysis // Journal of Earthquake Engineering 2024,
2. Ниятбай С.Е. диссертация Обеспечение сейсмостойкости памятников архитектуры устройством систем геотехнической сейсмоизоляции /2024/
<https://official.satbayev.university/download/documentPhd/41180/Dissertation%20by%20Niyetbay%20S.E..pdf>.
3. Banović, I., Radnić, J., Grgić, N. Geotechnical Seismic Isolation System Based on Sliding Mechanism Using Stone Pebble Layer: Shake-Table Experiments // Shock and Vibration 2019, 2019, doi:10.1155/2019/9346232.
4. Jing, L., Yin, Z., Sun, H., Dong, R., Xu, K., Cheng, X. Shaking Table Test of Geotechnical Seismic

- Isolation System Based on Glass Bead-Sand Cushions // Yanshilixue Yu Gongcheng Xuebao/Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2020, 39, doi:10.13722/j.cnki.jrme.2019.1138.
5. Pitilakis, D., Anastasiadis, A., Vratsikidis, A., Kapouniaris, A. Configuration of a Gravel-Rubber Geotechnical Seismic Isolation System from Laboratory and Field Tests // Soil Dynamics and Earthquake Engineering 2024, 178, doi:10.1016/j.soildyn.2024.108463.
 6. Jing, L.P., Yin, Z.Y., Sun, H.F., Dong, R., Xu, K.P., Li, Y.Q. Shaking Table Tests on Two Geotechnical Seismic Isolation Systems // Yantu Gongcheng Xuebao/Chinese Journal of Geotechnical Engineering 2020, 42, doi:10.11779/CJGE202011001.
 7. Dhanya, J.S., Fouzul, M.A., Banerjee, S., Boominathan, A., Zhussupbekov, A. Shaking Table Experiments on Framed Structure Resting on Geogrid Reinforced Geotechnical Seismic Isolation System // Bulletin of Earthquake Engineering 2023, 21, doi:10.1007/s10518-023-01687-x.
 8. Zhang, H., Song, C., Wang, M., Cheng, Y.; Yue, S., Wu, C. A Geotechnical Seismic Isolation System Based on Marine Sand Cushion for Attenuating Ground Shock Effect: Experimental Investigation // Soil Dynamics and Earthquake Engineering 2023, 168, doi:10.1016/j.soildyn.2023.107854.
 9. Sun, Q., Xue, Y., Hou, M. Geotechnical Seismic Isolation System to Protect Cut-and-Cover Utility Tunnels Using Tire-Derived Aggregates // Soil Dynamics and Earthquake Engineering 2024, 176, doi:10.1016/j.soildyn.2023.108354.
 10. Tsang, H.H., Tran, D.P., Hung, W.Y., Pitilakis, K., Gad, E.F. Performance of Geotechnical Seismic Isolation System Using Rubber-Soil Mixtures in Centrifuge Testing // Earthq Eng Struct Dyn 2021, 50, doi:10.1002/eqe.3398.
 11. Golestani Ranjbar, E., Seyedi Hosseininia, E. Seismic Performance of Rubber-Sand Mixture as a Geotechnical Seismic Isolation System Using Shaking Table Test // Soil Dynamics and Earthquake Engineering 2024, 177, doi:10.1016/j.soildyn.2023.108395.
 12. Degli Abbati, S., Sivori, D., Cattari, S.; Lagomarsino, S. Ambient Vibrations-Supported Seismic Assessment of the Saint Lawrence Cathedral's Bell Tower in Genoa, Italy // J Civ Struct Health Monit 2024, 14, doi:10.1007/s13349-023-00709-1.
 13. Kilic, G. Assessment of Historic Buildings after an Earthquake Using Various Advanced Techniques // Structures 2023, 50, doi:10.1016/j.istruc.2023.02.033.
 14. Requena-Garcia-Cruz, M. V., Romero-Sánchez, E., López-Piña, M.P., Morales-Esteban, A. Preliminary Structural and Seismic Performance Assessment of the Mosque-Cathedral of Cordoba: The Abd al-Rahman I Sector // Eng Struct 2023, 291, doi:10.1016/j.engstruct.2023.116465.
 15. Hoseynzadeh, H., Mortezaei, A. Seismic Vulnerability and Rehabilitation of One of the World's Oldest Masonry Minaret under the Different Earthquake Frequency Content // Journal of Rehabilitation in Civil Engineering 2021, 9, doi:10.22075/JRCE.2021.21251.1441.
 16. Alekseenko, V.N., Zhilenko, O.B. Seismic Stability of the Restored Architectural Monument // Magazine of Civil Engineering 2016, 67, doi:10.5862/MCE.67.4.
 17. Bessimbayev E.T., Niyetbay S.E., Awwad T. The prospect of using geotechnical seismic insulation for the protection of architectural monuments. Second Eurasian innovation forum «Current problems of development and safety of large cities».

- <https://gradoresurs.ru/grado/wp-content/uploads/sites/2/2024/07/The-prospect-of-using-geotechnical-seismic-insulation-for-the-protection-of-architectural-monuments.pdf>
18. Ma Z., Li Y., Wang D. Seismic fragility assessment of non-invasive geotechnical seismic isolation for existing bridges // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Elsevier, 2025. Vol. 192. P. 109266. doi:10.1016/J.ISTRUC.2024.107020.
 19. Liu Y., Li J., Lin G. Nonlinear seismic assessment for nuclear power plants with structural-geotechnical hybrid isolation strategy // Structures. Elsevier, 2024. Vol. 67. P. 107020.C. 109266. doi:10.1016/J.SOILDYN.2025.109266.
 20. Sun Q., Xue Y., Hou M. Geotechnical seismic isolation system to protect cut-and-cover utility tunnels using tire-derived aggregates // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Elsevier, 2024. Vol. 176. P. 108354. doi:10.1016/J.SOILDYN.2023.108354.

**С.Е.Ниетбай¹, Е.Т.Бесимбаев², И.Б. Ташмуханбетова *¹, А.К.Тлеубаева *¹,
Ш.Б.Толубаева¹**

¹Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан

²Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ, Алматы, Қазақстан

**Сәулет ескерткіштерін қорғау үшін резеңке топырақты қолдана
отырып геотехникалық сейсмикалық оқшаулаудың инновациялық шешімдері**

Аңдатпа. Мақалада сәулеттік ескерткіштерді сейсмикалық әсерлерден қорғау мақсатында геотехникалық сейсмооқшаулау әдістерін қолданудың шешімдері қарастырылады. Бұл тәсілдің артықшылықтарына ерекше назар аударылған, атап айтқанда тарихи ғимараттардың конструкциялық тұтастығын сақтау және олардың түпнұсқалығын жоғалтпау, конструкциялық жүйеге араласуды барынша азайту, сондай-ақ қолданылатын материалдардың ұзақ мерзімді тұрақтылығы. Сейсмооқшаулау бойынша негізгі әдістер мен технологиялар талданған, соның ішінде оқшаулаушы қабаттарды, демпферлік элементтерді, амортизациялық жүйелер мен іргетас төсеніштерін орнату тәсілдері. Тарихи- сәулеттік маңызы бар нысандарда сейсмооқшаулау технологияларын сәтті қолдану мысалдары келтірілген. Сейсмикалық белсенділігі жоғары өңірлерде мәдени мұраны сақтау үшін заманауи технологиялық шешімдердің маңыздылығы ерекше атап өтіледі.

Зерттеудің мақсаты – геотехникалық сейсмооқшаулаудың сәулеттік мұраны сақтаудағы тиімді құрал ретінде қолдану мүмкіндігін көрсету. Эксперименттік зерттеу нәтижелері көрсеткендей, оқшаулаушы қабат ретінде топырақ пен резеңке үгіндісінен тұратын композициялық материалды (грунтрезина) пайдалану сейсмикалық тербелістердің амплитудасын айтарлықтай төмендетуге мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде ғимараттардың тұрақтылығы мен пайдалану сенімділігін арттырады. Геотехникалық сейсмооқшаулау сейсмикалық тұрақты құрылыс саласындағы болашағы зор бағыт ретінде қарастырылады және техникалық, геологиялық және экономикалық факторларды ескеретін кешенді көзқарасты талап етеді.

Түйін сөздер: геотехникалық сейсмикалық оқшаулау; резеңке мен топырақтан тұратын композит; мәдени мұра нысандарын қорғау; зертханалық жағдайдағы

эксперименттік сынақтар; стандартты тығыздау құрылғысы; акселерометр көмегімен вибрацияны талдау; сейсмикалық әсер кезіндегі үдеудің амплитудасы.

**С.Е.Ниетбай¹, Е.Т.Бесимбаев², И.Б.Ташмуханбетова*¹, А.К. Тлеубаева*¹,
Ш.Б.Толеубаева¹**

¹Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан

*²Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И.
Сатпаева, Алматы, Казахстан*

Инновационные решения геотехнической сейсмоизоляции с применением грунторезины для защиты памятников архитектуры

Аннотация. В данной работе рассматривается потенциал применения геотехнических сейсмоизолирующих технологий для защиты объектов архитектурного наследия от разрушительных последствий сейсмических воздействий. Подчёркивается ряд преимуществ данного метода, среди которых — сохранение конструктивной целостности зданий, обеспечение их исторической аутентичности за счёт минимального вмешательства в существующие несущие системы, а также устойчивость используемых материалов к длительной эксплуатации в сложных условиях. Осуществлён обзор ключевых инженерных решений в области сейсмоизоляции, включая устройство амортизирующих прослоек, демпфирующих слоёв, поглощающих вставок и специальных фундаментных оснований. Приведены примеры реализации подобных решений на памятниках культурного значения. Особое внимание уделено значению современных инженерных разработок для повышения сейсмической безопасности в регионах с повышенным риском землетрясений. Целью исследования является обоснование эффективности геотехнической сейсмоизоляции как средства защиты исторических сооружений. Экспериментальные данные показали, что применение грунторезиновых композитов в качестве прослойки способствует значительному снижению амплитуд вибрационных колебаний, тем самым улучшая устойчивость и надёжность зданий. Подобный подход рассматривается как перспективное направление в развитии технологий сейсмостойкого строительства, требующее междисциплинарного анализа с учётом инженерных, геологических и экономических условий.

Ключевые слова: геотехническая сейсмоизоляция; композит на основе резины и грунта; защита объектов культурного наследия; экспериментальные испытания в лабораторных условиях; прибор для стандартного уплотнения образцов; анализ вибраций с использованием акселерометра; величина колебательных ускорений при сейсмическом воздействии.

References

1. Forcellini, D., Chiaro, G., Palermo, A., Banasiak, L., Tsang, H.H. Energy Dissipation Efficiency of Geotechnical Seismic Isolation with Gravel-Rubber Mixtures: Insights from FE Non-linear Numerical Analysis // Journal of Earthquake Engineering 2024

2. Ниетбай С.Е. диссертация Обеспечение сейсмостойкости памятников архитектуры устройством систем геотехнической сейсмоизоляции /2024/ <https://official.satbayev.university/download/documentPhd/41180/Dissertation%20by%20Niyetbay%20S.E..pdf>.
3. Banović, I., Radnić, J., Grgić, N. Geotechnical Seismic Isolation System Based on Sliding Mechanism Using Stone Pebble Layer: Shake-Table Experiments // Shock and Vibration 2019, 2019, doi:10.1155/2019/9346232.
4. Jing, L., Yin, Z., Sun, H., Dong, R., Xu, K., Cheng, X. Shaking Table Test of Geotechnical Seismic Isolation System Based on Glass Bead-Sand Cushions // Yanshilixue Yu Gongcheng Xuebao/Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2020, 39, doi:10.13722/j.cnki.jrme.2019.1138.
5. Pitilakis, D., Anastasiadis, A., Vratsikidis, A., Kapouniaris, A. Configuration of a Gravel-Rubber Geotechnical Seismic Isolation System from Laboratory and Field Tests // Soil Dynamics and Earthquake Engineering 2024, 178, doi:10.1016/j.soildyn.2024.108463.
6. Jing, L.P., Yin, Z.Y., Sun, H.F., Dong, R., Xu, K.P., Li, Y.Q. Shaking Table Tests on Two Geotechnical Seismic Isolation Systems // Yantu Gongcheng Xuebao/Chinese Journal of Geotechnical Engineering 2020, 42, doi:10.11779/CJGE202011001.
7. Dhanya, J.S., Fouzul, M.A., Banerjee, S., Boominathan, A., Zhussupbekov, A. Shaking Table Experiments on Framed Structure Resting on Geogrid Reinforced Geotechnical Seismic Isolation System // Bulletin of Earthquake Engineering 2023, 21, doi:10.1007/s10518-023-01687-x.
8. Zhang, H., Song, C., Wang, M., Cheng, Y.; Yue, S., Wu, C. A Geotechnical Seismic Isolation System Based on Marine Sand Cushion for Attenuating Ground Shock Effect: Experimental Investigation // Soil Dynamics and Earthquake Engineering 2023, 168, doi:10.1016/j.soildyn.2023.107854.
9. Sun, Q., Xue, Y., Hou, M. Geotechnical Seismic Isolation System to Protect Cut-and-Cover Utility Tunnels Using Tire-Derived Aggregates // Soil Dynamics and Earthquake Engineering 2024, 176, doi:10.1016/j.soildyn.2023.108354.
10. Tsang, H.H., Tran, D.P., Hung, W.Y., Pitilakis, K., Gad, E.F. Performance of Geotechnical Seismic Isolation System Using Rubber-Soil Mixtures in Centrifuge Testing // Earthq Eng Struct Dyn 2021, 50, doi:10.1002/eqe.3398.
11. Golestani Ranjbar, E., Seyedi Hosseininia, E. Seismic Performance of Rubber-Sand Mixture as a Geotechnical Seismic Isolation System Using Shaking Table Test // Soil Dynamics and Earthquake Engineering 2024, 177, doi:10.1016/j.soildyn.2023.108395.
12. Degli Abbati, S., Sivori, D., Cattari, S.; Lagomarsino, S. Ambient Vibrations-Supported Seismic Assessment of the Saint Lawrence Cathedral's Bell Tower in Genoa, Italy // J Civ Struct Health Monit 2024, 14, doi:10.1007/s13349-023-00709-1.
13. Kilic, G. Assessment of Historic Buildings after an Earthquake Using Various Advanced Techniques // Structures 2023, 50, doi:10.1016/j.istruc.2023.02.033.
14. Requena-Garcia-Cruz, M. V., Romero-Sánchez, E., López-Piña, M.P., Morales-Esteban, A. Preliminary Structural and Seismic Performance Assessment of the Mosque-Cathedral of Cordoba: The Abd al-Rahman I Sector // Eng Struct 2023, 291, doi:10.1016/j.engstruct.2023.116465.
15. Hoseynzadeh, H., Mortezaei, A. Seismic Vulnerability and Rehabilitation of One of the World's Oldest Masonry Minaret under the Different Earthquake Frequency Content //

- Journal of Rehabilitation in Civil Engineering 2021, 9, doi:10.22075/JRCE.2021.21251.1441.
16. Alekseenko, V.N., Zhilenko, O.B. Seismic Stability of the Restored Architectural Monument // Magazine of Civil Engineering 2016, 67, doi:10.5862/MCE.67.4.
 17. Bessimbayev E.T., Niyetbay S.E., Awwad T. The prospect of using geotechnical seismic insulation for the protection of architectural monuments. Second Eurasian innovation forum «Current problems of development and safety of large cities». <https://gradoresurs.ru/grado/wp-content/uploads/sites/2/2024/07/The-prospect-of-using-geotechnical-seismic-insulation-for-the-protection-of-architectural-monuments.pdf>
 18. Ma Z., Li Y., Wang D. Seismic fragility assessment of non-invasive geotechnical seismic isolation for existing bridges // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Elsevier, 2025. Vol. 192. P. 109266. doi:10.1016/J.ISTRUC.2024.107020.
 19. Liu Y., Li J., Lin G. Nonlinear seismic assessment for nuclear power plants with structural-geotechnical hybrid isolation strategy // Structures. Elsevier, 2024. Vol. 67. P. 107020. doi:10.1016/J.SOILDYN.2025.109266.
 20. Sun Q., Xue Y., Hou M. Geotechnical seismic isolation system to protect cut-and-cover utility tunnels using tire-derived aggregates // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Elsevier, 2024. Vol. 176. P. 108354. doi:10.1016/J.SOILDYN.2023.108354.

Сведения об авторах:

Ниетбай С.Е. – доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры Проектирование зданий и сооружений, факультета общего строительства Международной образовательной корпорации, ул. Рыскулбекова 28, г. Алматы, 050043, Казахстан.

Бесимбаев Е.Т. – доктор технических наук, ассоциированный профессор кафедры строительства и строительных материалов, института архитектуры и строительства КазНITU им. Сатпаева, ул. Сатпаева 22а, 050013, г. Алматы, Казахстан.

Ташмуханбетова И.Б. – автор для корреспонденции, доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры Проектирование зданий и сооружений, факультета общего строительства Международной образовательной корпорации, ул. Рыскулбекова 28, г. Алматы, 050043, Казахстан.

Тлеубаева А.К. – автор для корреспонденции, кандидат технических наук, и.о. доцента кафедры Проектирование зданий и сооружений, факультета общего строительства Международной образовательной корпорации, ул. Рыскулбекова 28, г. Алматы, 050043, Казахстан.

Толеубаева Ш.Б. – PhD доктор философии, и.о. доцента кафедры Проектирование зданий и сооружений, факультета общего строительства Международной образовательной корпорации, ул. Рыскулбекова 28, г. Алматы, 050043, Казахстан.

Ниетбай С.Е. – PhD докторы, Халықаралық білім беру корпорациясының жалпы құрылыс факультеті, Ғимараттар мен құрылыстарды жобалау кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Рысқұлбеков к-сі 28, 050043, Алматы қ., Қазақстан.

Бесимбаев Е.Т. – техника ғылымдарының докторы, Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ сәулет және құрылыс институтының құрылыс және құрылыс материалдары кафедрасының қауымдас-

тырылған профессоры, Сәтбаев көшесі 22а, 050013, Алматы қ., Қазақстан.

Ташмуханбетова И.Б. – хат-хабар авторы, PhD докторы, Халықаралық білім беру корпорациясының жалпы құрылыс факультеті, Ғимараттар мен құрылыстарды жобалау кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Рысқұлбеков к-сі 28, 050043, Алматы қ., Қазақстан.

Тлеубаева А.К. – хат-хабар авторы, техника ғылымдарының кандидаты, Халықаралық білім беру корпорациясының жалпы құрылыс факультеті, Ғимараттар мен құрылыстарды жоба-

лау кафедрасының доцент м.а., Рысқұлбеков к-сі 28, 050043, Алматы қ., Қазақстан.

Толеубаева Ш.Б. – PhD философия докторы, Халықаралық білім беру корпорациясының жалпы құрылыс факультеті, Ғимараттар мен құрылыстарды жобалау кафедрасының доцент м.а., Рысқұлбеков к-сі 28, 050043, Алматы қ., Қазақстан.

Niyetbay S. – PhD, Associate Professor of the Department of Building and Structure Design, Faculty of General Construction, International Educational Corporation, Ryskulbekov St. 28, 050043, Almaty, Kazakhstan

Bessimbayev Y. – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction and Building Materials, Institute of Architecture and Construction, Satbayev University, Satpayev St. 22a, 050013, Almaty, Kazakhstan.

Tashmukhanbetova I. – corresponding author, Associate Professor of the Department of Building and Structure Design, Faculty of General Construction, International Educational Corporation, Ryskulbekov St. 28, 050043, Almaty, Kazakhstan.

Tleubayeva A. – corresponding author, Candidate of Technical Sciences, Acting Associate Professor of the Department of Building and Structure Design, Faculty of General Construction, International Educational Corporation, Ryskulbekov St. 28, 050043, Almaty, Kazakhstan.

Toleubayeva Sh. – PhD, Doctor of Philosophy, Acting Associate Professor of the Department of Building and Structure Design, Faculty of General Construction, International Educational Corporation, Ryskulbekov St. 28, 050043, Almaty, Kazakhstan.



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

Бас редакторы: Б.Б. Тогизбаева
Компьютерде беттеген: А. Тулеков

Авторларға арналған нұсқаулықтар,
жарияланым этикасы журнал сайтында берілген: <http://bultech.enu.kz>

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.
Техникалық ғылымдар және технологиялар сериясы.
№1 (151)/2025 – Астана: ЕҰУ. – 281 б. Шартты б.т. – 17,5. Таралымы – сұраныс бойынша.

Басуға қол қойылды: 30.06.2025 ж.
Ашық қолданыстағы электронды нұсқа: <http://bultech.enu.kz>

Мазмұнына типография жауап бермейді

Редакция мекен-жайы: 010008, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Сәтбаев көшесі, 2.
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті
Тел.: +7(71-72) 70-95-00 (ішкі 31-315)

Л.Н. Гумилев атындағы
Еуразия ұлттық университетінің баспасында басылды.