

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

№1 (150)/ 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
Рытем 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.Uteпов	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>

© L.N. Gumilyov Eurasian National University

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.и.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

№1 (150)/2025

МАЗМҰНЫ / CONTENT / СОДЕРЖАНИЕ

Г. Хромова, Д. Раджибаев, А. Мавлянов

Көлік техникасы үшін күрделі конфигурациядағы локомотивтердің рамалық конструкцияларының динамикалық беріктігін есептеу әдісі.....

G. Khromova, D. Radjibaev, A. Mavlyanov

Method of calculation of dynamic strength of frame structures of locomotives of complex configuration for transport engineering.....

Г. Хромова, Д. Раджибаев, А. Мавлянов

Методика расчета динамической прочности рамных конструкций локомотивов сложной конфигурации для транспортного машиностроения.....

9

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

Компетентностная модель специалиста в сфере авиации

M.E. Kalekeyeva, G.V. Muratbekova, O.V. Garmash, I.ZH. Assilbekova, M.V. Amanova

Competence model of an aviation specialist

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

Авиация саласындағы маманның құзыреттілік моделі

22

А.Қ. Айтим, А.А. Қахарман, Д.С. Иемберген, О.Е. Қасымбаев, Е.Е. Маликомар

Жол-көлік апаттарын анықтау және хабарландыру үшін мобильдік қосымша әзірлеу.....

A.K. Aitim, A.A. Kakharman, D.S. Iyembergen, O.E. Kassymbayev, Y.Y. Malikomar

Development of a Mobile Application For the Detection and Notification of Road Accidents.....

А.К. Айтим, А.А. Қахарман, Д.С. Иемберген, О.Е. Қасымбаев, Е.Е. Маликомар

Разработка мобильного приложения для обнаружения и оповещения о дорожно-транспортных происшествиях.....

31

Г. Мауленова, М. Мұстафа, У. Тарик

Өнеркәсіптік кәсіпорындарды қазіргі қалалық ортаның экологиялық талаптарына сәулеттік-кеңістіктік бейімдеу әдістерін талдау.....

G. Maulenova, M. Mustafa, U. Tariq

Analysis of methods of architectural and spatial adaptation of industrial enterprises to the environmental requirements of the modern urban environment.....

Г. Мауленова, М. Мұстафа, У. Тарик

Анализ методов архитектурно-пространственной адаптации промышленных предприятий к экологическим требованиям современной городской среды.....

46

К.К. Забиева, К.Ж. Шетиева

Жер асты мұнай құбыры элементінің жоғары қысым толқынының пайда болуын ескере отырып кернеулі-деформациялық күйін есептеу.....

K. Zabiyeva, K. Shetiyeva

Calculation of the stress-strain state of an element of an underground oil pipeline, taking into account the appearance of an overpressure wave.....

К.К. Забиева, К.Ж. Шетиева

Расчет напряженно-деформированного состояния элемента подземного нефтепровода с учетом появления волны повышенного давления.....

62

И.О. Мұльдеков, А.Ж. Құздеубаев, К.А. Байғұтов, УТ. Қарымсақов, Д.Д. Каражанова Дұрыс көпбұрыштарды тұрғызудағы жүйелі қателіктерді еселемеу амалы.....	
I. Muldekov, A. Kuzdeubayev, K. Baigutov, U. Karymsakov, D. Karazhanova Method of increasing systematic errors in constructing correct polygons.....	
И.О. Мұльдеков, А.Ж. Құздеубаев, К.А. Байғұтов, УТ. Қарымсақов, Д.Д. Каражанова Метод сокращения систематических ошибок при построении правильных многоугольников.....	76
И.Д. Гридунов, К.К. Қомбаев, Е.Е. Табиева, А.С. Қизатов Күрделі жөндеуден кейін КамАЗ-740 иінді білігінің шаршау беріктігіне соңғы элемент- терді модельдеуді қолдана отырып, электролит-плазмалық модификацияның әсерін зерттеу.....	
I.D. Gridunov K.K. Kombayev, Y.Y. Tabiyeva, A.S. Kizatov Studying the effect of the electrolyte-plasma modification on the fatigue strength of the KamAZ-740 crankshaft after overhaul using finite element modeling.....	
И.Д. Гридунов, К.К. Қомбаев, Е.Е. Табиева, А.С. Қизатов Исследование влияния электролитно-плазменной модификации на усталостную проч- ность коленчатого вала КамАЗ-740 после капитального ремонта с применением моде- лирования методом конечных элементов.....	87
А.С. Бутабекова, Ш.Т. Абдыкаримова Жоғары оқу орындарының сәулеттік қалыптасуына тарихи талдау.....	
A.S. Butabekova, Sh. T. Abdykarimova Historical analyses of the architectural formation of higher education institutions.....	
А.С. Бутабекова, Ш.Т. Абдыкаримова Исторический анализ архитектурного формирования высших учебных заведений.....	107
Д.Б. Альмукашева, Д.А. Назарова Алматы қаласының мысалында тұрғын аудандардың қасбеттерін колористикалық ұйымдастыру үшін сәулеттік дизайн кодының принципін бейімдеу.....	
D. Almkasheva, D. Nazarova Adaptation of the principle of architectural design code for the coloristic organization of facades of residential areas on the example of almaty.....	
Д.Б. Альмукашева, Д.А. Назарова Адаптация принципа архитектурного дизайн-кода для колористической организации фасадов жилых районов на примере Алматы.....	124
А.С. Каржаубаев, А.Е. Тойлыбаев, У.А. Усипбаев, С.С. Пернебеков, А.О. Казенова Кең қабатты балқылаумен қалпына келтірілген шойын иінді біліктердің төзімділік беріктігін зерттеу.....	
A.S. Karzhaubayev, A.E. Toilybayev, U.A. Usipbayev, S.S. Pernebekov, A.O. Kazenova Studies of fatigue strength of cast-iron crankshafts restored by wide-layer surfacing	
А.С. Каржаубаев, А.Е. Тойлыбаев, У.А. Усипбаев, С.С. Пернебеков, А.О. Казенова Исследования усталостной прочности чугуновых коленчатых валов, восстановленных широкослойной наплавкой.....	137
Қ.М. Сансызбай, Е.А. Бахтиярова, Т.О. Чигамбаев, Ө.К. Әбдірашев, З. Баданбекқызы Қазақстан темір жолдарының өткізу қабілетін арттыру үшін цифрлық ұлттық микропроцессорлық жартылай автоматты блоктау жүйесі	
K.M. Sansyzbay, Y.A. Bakhtiyarova, T.O. Chigambaev, O.K. Abdirashev, Z. Badanbekkyzy Digital national microprocessor-based semi-automatic interlocking system to increase railroad capacity in Kazakhstan.....	
Қ.М. Сансызбай, Е.А. Бахтиярова, Т.О. Чигамбаев, Ө.К. Әбдірашев, З. Баданбекқызы Цифровая национальная микропроцессорная система полуавтоматической блокировки для увеличения пропускной способности железных дорог Казахстана.....	148

Г.Б. Хайытбаева , Б.Т. Сазамбаева, А.Б. Болатова Темір жол крандарының конструкциялары мен ақауларына шолу.....	
G.V. Khaiytbayeva, B.T. Sazambayeva, A.B. Bolatova Overview of designs and defects of railway cranes	
Г.Б. Хайытбаева, Б.Т. Сазамбаева, А.Б. Болатова Обзор конструкций и дефектов узлов железнодорожных кранов.....	162
Т.Е. Сарсембаева, А.Т. Канаев Плазмалық шынықтыру кезінде құрылымдық болатта градиентті-қабатты құрылымның қалыптасуы.....	
Т.Е. Сарсембаева, А.Т. Канаев Formation of a gradient-layer structure in structural steel during plasma hardening.....	
Т.Е. Сарсембаева, А.Т. Канаев Формирование градиентно-слоистой структуры в конструкционной стали при плазменной закалке.....	173
С.Ш. Садыкова, А.А. Сайлаубеков Мектеп ғимараттарының архитектурасындағы энергия тиімділігі: тұрақты дамудың негізгі факторы.....	
S.Sh. Sadykova, A.A. Sailaubekov Energy Efficiency in School Building Architecture: A Key Factor for Sustainable Development	
С.Ш. Садыкова, А.А. Сайлаубеков Энергоэффективность в архитектуре школьных зданий:ключевой фактор устойчивого развития.....	186
Д.Е. Сарсембаева Астана қаласының элеуметтік инфрақұрылымындағы сауда объектілерінің тарихи дамуы	
D.Ye. Sarsembayeva Historical development of trade facilities of social infrastructure of Astana city	
Д.Е. Сарсембаева Историческое развитие торговых объектов социальной инфраструктуры города Астана.....	203
Б.У. Жаманбаев, Г.К. Саменов, У.Ш. Кокаев, Ж.Р. Алипбаев, А.А. Каражанов Қоғамдық көлік аялдамаларын орналастыруды оңтайландыру	
B.U. Zhamanbayev, G.K. Samenov, U.Sh. Kokayev, Zh.R. Alipbayev, A.A. Karazhanov Optimization of public transport stop placement.....	
Б.У. Жаманбаев, Г.К. Саменов, У.Ш. Кокаев, Ж.Р. Алипбаев, А.А. Каражанов Оптимизация размещения остановок общественного транспорта.....	213
А.Т. Мухамеджанова, Д. Қажимқанұлы, Е.Б. Утепов, А. Анискин Су басқан аумақтарды бақылаудың заманауи технологиялары және олардың инфрақұрылымға әсері.....	
A.T. Mukhamejanova, D. Kazhimkanuly, Ye.B. Uteпов, A. Aniskin Modern technologies for monitoring waterlogged areas and their impact on infrastructure	
А.Т. Мухамеджанова, Д. Қажимқанұлы, Е.Б. Утепов, А. Анискин Современные технологии мониторинга подтопляемых территорий и их влияние на инфраструктуру	226
А.Ш. Кайдаров, Г.А. Карабаев Астана қаласында қоғамдық кеңістіктердің бірыңғай қаңқасын қалыптастыру туралы мәселе	
A.S. Kaidarov, G.A. Karabayev On the issue of forming a single framework of public spaces in Astana.....	
А.Ш. Кайдаров, Г.А. Карабаев К вопросу формирования единого каркаса общественных пространств в городе Астане	249

Д.К. Кушалиев, С.О. Төребекова, Е.Т. Қалшора, Р.Б. Қорабай Гидравликалық цилиндрлердің негізгі ақауларын талдау.....	
D.K. Kushaliyev, S.O. Torebekova, E.T. Kalshora, R.B. Korabay Analysis of the main malfunctions of hydraulic cylinders.....	
Д.К. Кушалиев, С.О. Төребекова, Е.Т. Қалшора, Р.Б. Қорабай Анализ основных неисправностей гидравлических цилиндров	265
Г.Н. Байгужина, Н.С. Камзанов, М.С. Нурғалиева, Ж.Н. Жакишева Жылжымалы құрам мен жолдың өзара әрекеттесуін зерттеу жұмыстары бойынша шолу жасау.....	
G.N. Baiguzhina, N.S. Kamzanov, M.S. Nurgaliyeva, Zh.N. Zhakisheva An overview of the work on studying the interaction of rolling stock and track.....	
Г.Н. Байгужина, Н.С. Камзанов, М.С. Нурғалиева, Ж.Н. Жакишева Обзор работ по изучению взаимодействия подвижного состава и пути.....	278
А.Ж. Карсакова, А.Б. Оразалина Жол машиналары паркін оңтайландыру арқылы жолды пайдалану тиімділігін арттыру A.J. Karsakova, A.B. Orazalina Improving the efficiency of road use by optimizing the fleet of road vehicles.....	
А.Ж. Карсакова, А.Б. Оразалина Повышение эффективности использования дорог за счет оптимизации парка дорожных машин.....	286



МРНТИ 73.01.61

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-150-1-9-21>

Научная статья

Метод расчета на динамическую прочность рамных конструкций локомотивов сложной конфигурации для транспортного машиностроения

Галина Хромова¹, Даврон Раджибаев¹, Адхам Мавлянов¹

Ташкентский государственный университет транспорта, Ташкент, Узбекистан

(E-mail: davronmail@bk.ru)

Аннотация. В данной статье предлагается новый обобщенный аналитико-численный метод расчета на динамическую прочность несущего каркаса рамы локомотива сложной конфигурации в предположении ее колебаний по схеме балочного типа с упругим защемлением концов при действии гармонической нагрузки, при движении электровоза по пути с периодической стыковой неровностью, при повышенных скоростях движения.

Далее представлены алгоритм расчета, блок-схема для моделирования напряженно-деформированного состояния несущего каркаса рамы локомотива сложной конфигурации в виде упругого стержня переменного сечения с переменной массой, изгибной и продольной жесткостью.

Приведены результаты численного исследования по напряженно-деформированному состоянию несущего каркаса рамы кузова локомотива с учетом установки усиливающих накладок при модернизации и выполнено сопоставление результатов математической модели рамы кузова локомотива сложной конфигурации с моделью, построенной по методу конечных элементов в программном продукте Solid Works.

С учетом результатов экспериментальных исследований при натуральных динамических испытаниях рам тележек и главных рам кузовов электровозов ВЛ-80с при движении их по рельсовому пути при различных режимах нагружения проводится научное обоснование способа модернизации рам тележек и главных рам кузовов данного типа локомотивов при проведении капитально-восстановительного ремонта.

Предложен инженерный метод аналитико-численного расчета, который позволяет проводить квазистатическое и динамическое моделирование напряженно-деформированного состояния главной рамы кузова и рам тележек локомотивов с модернизированным усиленным несущим каркасом на базе программ для численного расчета, на которые получены 2 свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ Республики Узбекистан (№ DGU 07664, 31.04.2020 г. и № DGU 10286 от 24.02.2021 г.).

Ключевые слова: электровоз, главная рама кузова электровоза, рама тележки, динамические нагрузки, напряженно-деформированное состояние главных рам и рам тележек электровозов, коэффициент запаса усталостной прочности, капитально-восстановительный ремонт главных рам электровозов

Поступила 17.03.2025. Доработана 17.03.2025. Одобрена 26.03.2025. Доступна онлайн 31.03.2025

¹автор для корреспонденции

Введение

В современной иностранной патентной и научно-технической литературе широко исследуются проблемы повышения надежности и прочности рамных конструкций локомотивов сложной конфигурации в процессе их проектирования, эксплуатации и модернизации [1÷5]. Очевидно, что общее напряженное состояние главной рамы кузова и рам тележек локомотивов, а также их несущих эквивалентных каркасов будет значительным образом зависеть от продольных, поперечных и крутильных динамических составляющих тяговых усилий, возникающих в рамных каркасах сложной конфигурации, а также рациональной конструкции установки усиливающих накладок при модернизации и контактных напряжений, возникающих при резких перепадах температур. Эти факторы вызывают снижение общего срока эксплуатации локомотивов в 1.2-1.5 раза.

В мире исследования в области анализа напряженно-деформированного состояния конструкций транспортных средств проводятся в научных центрах, университетах и научно-исследовательских институтах ведущих стран мира, в том числе: Wessex Institute of Technology (Великобритания), University of Naples di Napoli (Италия), Ryerson University (Канада), University of La Coruna (Испания), Saga University, (Япония). В странах СНГ над поставленными вопросами работали авторитетные научные школы и крупные ученые Российского университета транспорта (МИИТ) (Россия), Петербургского государственного университета путей сообщения (Россия), Московского авиационного института, Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта «ВНИИЖТ», ОАО «ВНИКТИ», ОАО «Российские железные дороги», Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС), Ростовского государственного университета путей сообщения (Россия), Алматинского университета энергетики и связи (АУЕС) (Казахстан), Института цифровой экономики и права (ИЦЕиП) (Казахстан), Ташкентского государственного транспортного университета (Узбекистан) и других образовательных и научных центрах инженеров железнодорожного транспорта. В решении сложных задач, связанных с изучением прочности и надежности рам тележек и главных рам кузовов подвижного состава внесли Российский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ЦНИИ МПС) и Российский научно-исследовательский институт вагоностроения (НИИВ), которые проводили теоретико-экспериментальные исследования по данной проблеме [1-7].

В мире для усовершенствования методов расчета напряженно-деформированного состояния рам подвижного состава для транспортного машиностроения и разработке технических средств их функциональной диагностики характерно одновременное использование методов теоретических исследований с численной обработкой результатов на ЭВМ и данных эксперимента по напряженно-деформированному состоянию конструкций с выполнением расчетов на динамическую прочность. При этом широко используются численные технологии, в том числе применение среды программирования *MATHCAD* при расчетах механической части локомотивов и метода граничных элементов (the Boundary Element Technology) при подборе рациональных параметров узлов и деталей механической части локомотивов [1,2,3,5,6].

В Республике Узбекистан проблемами динамического расчета на прочность рам подвижного состава занимались академик АН РУз, профессор, д.т.н. А.Д. Глущенко, профессора Ш.С. Файзибаев, Г.А. Хромова, А.А. Шермухамедов, Р.В. Рахимов, З.Г. Мухамедова, О.Р. Хамидов, Д.О. Раджибаев, а также их ученики [8,9,11-15].

Вместе с тем, в существующих научно-исследовательских работах не уделено достаточного внимания усовершенствованию методов расчета напряженно-деформированного состояния рам подвижного состава для транспортного машиностроения и разработке технических средств их функциональной диагностики с целью продления срока полезной эксплуатации. Наличие изгибных и крутильных колебаний кузовов, их несущих рам, рессорного подвешивания и ходовой части приводит к резкому снижению показателей усталостной прочности и надежности конструкций. В связи с этим при проводимой модернизации подвижного состава должна быть обеспечена достаточная жесткость усиливаемых механических узлов и деталей, чтобы обеспечить их надежную эксплуатацию в последующие 8-10 лет в подразделениях АО «Узбекистон темир йуллари».

В статье впервые предложен инженерный метод аналитико-численного расчета, который позволяет проводить квазистатическое и динамическое моделирование напряженно-деформированного состояния главной рамы кузова и рам тележек локомотивов с модернизированным усиленным несущим каркасом на базе программ для численного расчета, на которые получены 2 свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ Республики Узбекистан (№ DGU 07664, 31.04.2020 г. и № DGU 10286 от 24.02.2021 г.) [10,11], базирующийся на результатах численного расчета, моделирования и симуляции в программных продуктах *Mathcad 15* и *Solid Works*, а также сравнительном анализе данных теоретических и экспериментальных исследований.

Методология

Объектом исследования являются модернизируемая рама тележки и главная рама кузова электровозов, эксплуатируемых на АО «Узбекистон темир йуллари», конкретно для электровозов ВЛ80 и ВЛ80с.

Предметом исследования являются методы математического моделирования колебаний рам тележек и главных рам кузовов электровозов с учетом воздействия продольных, поперечных и крутильных составляющих нагрузок при повышенных скоростях движения, а также влияния контактных динамических и тепловых воздействий в процессе капитально-восстановительного ремонта.

В данной статье использованы методы матричного анализа и имитационного моделирования, математической статистики, а также применены численные методы: метод Фурье, метод кусочно-линейной аппроксимации, метод итераций и метод граничных элементов (the Boundary Element Technology). Численные исследования выполнены на языке C# и в среде программирования *MATHCAD 15* [10,11]. Выполнено сопоставление результатов математической модели рамы кузова локомотива сложной конфигурации с моделью, построенной по методу конечных элементов в программном продукте *Solid Works*.

Методика проведения экспериментальных исследований определялась совокупностью правил применения стандартных принципов для осуществления натуральных испытаний, которые заключались в исследовании внешних воздействий, использовании соответствующего оборудования и аппаратуры (вибродатчиков и тензодатчиков), применении автоматизированного комплекса регистрации и обработки данных эксперимента вероятностно-статистическими методами (Analyzer 2020). Кроме того, предлагаемая нами методика испытаний базируется на методике проведения натуральных испытаний электровозов, принятой одинаковой для всех стран СНГ [5,6,7].

По результатам данных численного расчета в среде программирования MATHCAD 15 для модернизированного сечения узла 1 усиления кронштейнов на главной раме кузова электровоза ВЛ-80 установлено, что суммарные напряжения в наиболее нагруженном сечении не превышают предела прочности и равны $\sigma_{\text{сум}}=123,71$ МПа при конструкционной скорости $V_{\text{ЭК}}=110$ км/час,

при этом предел прочности для данного сечения 1 равен

$$n = \frac{[\sigma_{\text{доп}}]}{\sigma_{\text{сум}}} = \frac{240}{123,71} = 1,94. \quad (1)$$

Коэффициент запаса прочности по расчету получился больше 1,6, т.е. данное сечение 1 проходит условие по запасу прочности.

При этом, если даже учесть старение материала главной рамы кузова, когда по формуле (2) возникающие суммарные напряжения должны быть

$$(\sigma_y + \sigma_{\text{СТ}}) \leq [\sigma] = 218,18 \text{ МПа}, \quad (2)$$

коэффициент запаса прочности с учетом старения материала будет равен

$$n_{\text{стар}} = \frac{[\sigma]}{\sigma_{\text{сум}}} = \frac{218,18}{123,71} \approx 1,764. \quad (3)$$

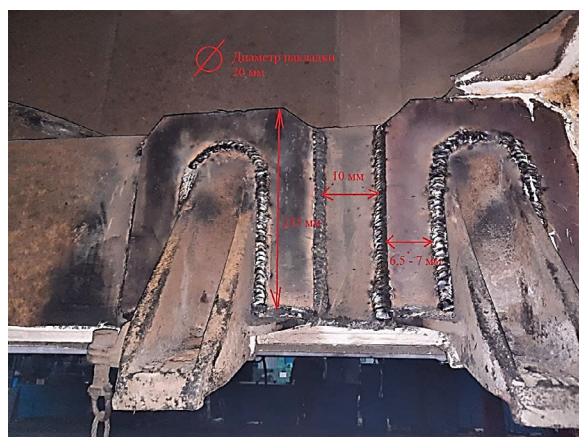


Рисунок 1. Модернизация узла 1 усиления кронштейнов главной рамы кузова электровоза ВЛ-80 с установкой усиливающих накладок, выполненная на УП «O'ztemiryo'Imashta'mir»

При проверке усталостной прочности было учтено, что элементы главной рамы кузова электровоза, подвергающиеся переменному асимметричному напряжению, должны иметь дополнительный запас прочности из-за наличия концентраторов напряжений и ряда других причин. При этом предел выносливости снижается за счет уменьшения в k_σ раз переменной составляющей предельно допустимого напряжения. Коэффициент снижения усталостной прочности детали по сравнению с образцом $k_\sigma = 2,4$.

Коэффициент чувствительности материала к асимметрии цикла

$$\psi_\sigma = \frac{2\sigma_T - \sigma_0}{\sigma_0} = 0,6, \quad (3)$$

где $\sigma_T = 200$ МПа, $\sigma_0 = 250$ МПа, $\sigma_m = 69,778$ МПа

При этом предел выносливости

$$\sigma_{\text{ВЫН}} = \frac{\sigma_T}{k\sigma} + \left(1 - \frac{2\sigma_T - \sigma_0}{\sigma_T k\sigma}\right) \sigma_m \quad (4),$$

где согласно численного расчета $\sigma_{\text{ВЫН}} = 131,36$ МПа.

Запас усталостной прочности с учетом максимального напряжения

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{\text{ВЫН}}}{\sigma_m + \sigma_{\text{аПР}}} = 1,427, \quad (5)$$

где $\sigma_{\text{аПР}} = 22,216$ МПа – приведенное амплитудное напряжение, которое вычисляется по формуле

$$\sigma_{\text{аПР}} = 2,17 \sqrt[6]{(\sum_i R_i)}, \quad (6)$$

где R_i – это приведенное амплитудное напряжение расчетного асимметричного цикла динамического нагружения деталей рамы, вычисляется согласно численного расчета в программе, составленной для среды программирования *MathCad 15* [9,12,15].

В результате проведенных численных исследований по сечениям главной рамы кузова электровоза ВЛ-80 установлено, что с учетом проведенной модернизации путем установки усиливающих накладок усталостная прочность достаточная, так как она превышает минимальное значение 1,4.

Результаты и обсуждение

На основании проведенных аналитико-численных исследований [10÷15] и сравнительного анализа с проведенными нами экспериментальными исследованиями [9,12,15] можно сделать следующие обобщающие выводы:

1. Разработан обобщенный метод расчета на динамическую прочность рамных конструкций локомотивов сложной конфигурации для транспортного машиностроения с учетом влияния контактных динамических и тепловых нагрузок, а также продольных, поперечных и крутильных составляющих тяговых усилий при повышенных скоростях движения, конкретно, для главной рамы и рам тележек электровоза ВЛ-80 [9÷15].

2. В результате проведенного численного расчета с использованием среды программирования MATCAD 15 [10,11] получены максимальные напряжения в расчетных режимах, определяющие прочность боковин рамы кузова электровоза ВЛ-80 после проведения с усилением путем установки усиливающих накладок, которые сведены в таблицу 1.

Максимальные напряжения в расчетных режимах главной рамы электровоза ВЛ-80 после проведения модернизации с усилением путем установки усиливающих накладок

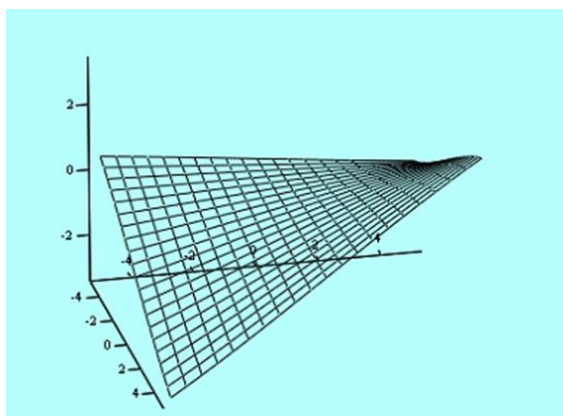
Таблица 1.

№№ п/п	Наименование режима		Максимальное напряжение, МПа
1.	Весовое нагружение		- 21,5 МПа
2.	Одиночная тяга	Дополнительные напряжения	+ 49,6
		Суммарные с весовыми	+ 66,0
3.	Двойная тяга	Дополнительные напряжения	+97,5
		Суммарные с весовыми	+114,0
4.	Сжатие силами 250т (2.5 МН) по оси автосцепок	Дополнительные напряжения	-198,5
		Суммарные с весовыми	-211,8
5.	Растяжение силами 250т (2.5 МН) по оси автосцепок	Дополнительные напряжения	+198,5
		Суммарные с весовыми	+215,3
6.	Удар силой 250 т (2.5 МН) в автосцепку	Дополнительные напряжения	-174,8
		Суммарные с весовыми	-198,1
7.	Рывок силой 250 т (2.5 МН) на автосцепке	Дополнительные напряжения	+174,8
		Суммарные с весовыми	+174,8

3. На рисунке 2 представлен график изменения динамических перемещений сечений главной рамы кузова электровоза ВЛ-80 стандартной конструкции при изгибных колебаниях во времени (в середине пролета).

4. Для сопоставления результатов математической модели рамы кузова локомотива сложной конфигурации с моделью, построенной по методу конечных элементов, был выбран программный продукт от компании *Solid Works*. По итогам моделирования напряженно-деформированного состояния рамы кузова электровоза ВЛ80с были определены значения максимальных напряжений в опасных зонах (рисунок 3).

$W_{изгР}$ см



X, м

Рисунок 2. График изменения динамических перемещений сечений рамы кузова электровоза ВЛ-80 стандартной конструкции при изгибных колебаниях во времени (в середине пролета).

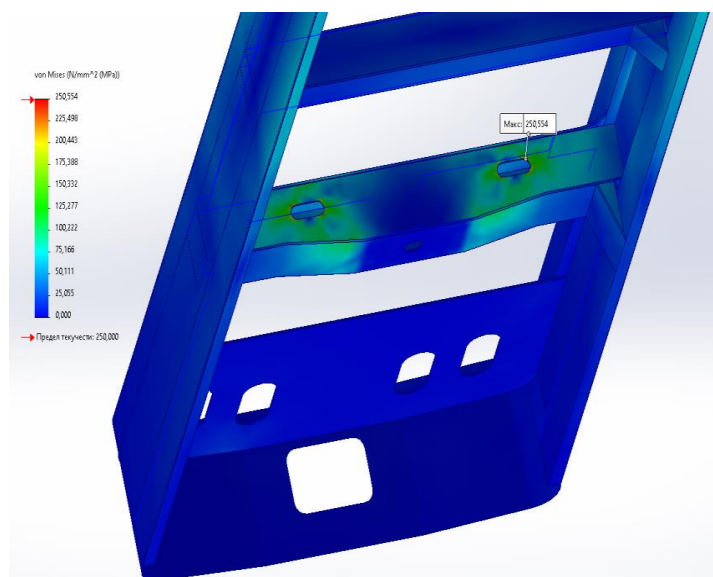


Рисунок 3. Напряженная зона рамы электровоза ВЛ-80с, соответствующая сечению D.

Расхождения значений, полученных в результате моделирования методом конечных элементов (МКЭ) и разработанным методом на основе кусочно-линейной аппроксимации (МКЛА)

Таблица 2.

№№ п/п	Наименование режима		Максимальное напряжение, определенное по МКЛА, МПа	Максимальное напряжение, определенное по МКЭ, МПа	Расхождение, %
1.	Сжатие силами 250т (2.5 МН) по оси автосцепок	Дополнительные напряжения	-198,5	-215,35	7.2%
		Суммарные с весовыми	-211,8	-218,2	3%

2.	Растяжение силами (2.5 МН) по оси автосцепок	Дополнительные напряжения	+198,5	+216,3	8%
		Суммарные с весовыми	+215,3	+238,3	10%

При сопоставлении результатов двух методов было определено, что значения суммарных напряжений в наиболее нагруженных сечениях главной рамы электровоза практически идентичны (рисунок 3). Расхождения по выбранным сечениям не превышают значения в 7÷9%. Результаты приведены в таблице 2.

Заключение

На основе проведенных аналитических, численных и экспериментальных исследований получены следующие основные научные и прикладные результаты:

1. На основании расчётных исследований, выполненных в среде программирования MATHCAD 15, по определению фактически достигаемых напряжений в материале сварных швах деталей главной рамы кузова, в которых возникали усталостные трещины, были подобраны рациональные размеры для усиливающих накладок со сложной конфигурацией для деталей главных рам кузовов электровозов ВЛ-80.

2. На основании данных обобщающей таблицы 1 можно сделать следующие выводы:
– максимальные значения суммарных напряжений, вычисленные для возможных наиболее неблагоприятных сочетаний нагрузки расчетных режимов нагружения главной рамы электровоза ВЛ-80, не превышают допускаемые;

– усиление главной рамы кузова путем установки усиливающих накладок приводит к снижению максимальных напряжений по сравнению с существующей конструкцией на 10÷15% в зависимости от режима нагружения.

3. Крутильные напряжения в раме кузова электровоза, согласно экспериментальным данным, очень малы, не фиксировались измерительной аппаратурой [9,12]. В связи с этим они не учитывались нами в расчете на динамическую прочность.

4. Предложен инженерный метод аналитико-численного расчета, который позволяет проводить квазистатическое и динамическое моделирование напряженно-деформированного состояния главной рамы кузова и рам тележек локомотивов с модернизированным усиленным несущим каркасом на базе программ для численного расчета, на которые получены 2 свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ Республики Узбекистан (№ DGU 07664, 31.04.2020 г. и № DGU 10286 от 24.02.2021 г.) [10,11].

5. Разработаны новые Инструкции по усилению рам тележек и главной рамы кузовов электровозов серии ВЛ-80 при капитально-восстановительном ремонте с продлением срока службы в условиях УП «Ўзтемирйўлмаштаъмир». Внедрение данных Инструкций уменьшает вероятность аварийных разрушений рам тележек и деталей главных рам кузовов электровозов серии ВЛ-80 и увеличивает срок их полезной эксплуатации на 8-10 лет.

6. Разработан новый способ модернизации локомотивов при капитально-восстановительном ремонте с целью улучшения динамических характеристик, повышения прочности, надежности и продления срока полезного использования. При этом в результате внедрения предлагаемого способа модернизации для 9-ти секций электровозов ЗВЛ80с получен экономический эффект в размере 678 миллионов сум в течение 2022 года.

Вклад авторов

Галина Хромова – сбор и анализ данных, написание текста, дизайн;

Даврон Раджибаев – концепция, интерпретация результатов работы;

Адхам Мавлянов – критический пересмотр, редактирование.

Список литературы

1 **Spiryagin, M. & Cole C. & Sun, Y.Q. & McClanachan, M. & Spiryagin, V. & McSweeney, T.** Design and Simulation of Rail Vehicles. Ground Vehicle Engineering series. 2014. CRC Press. - 337 p.

2 **Popp, K. & Schiehlen, W.** System Dynamics and Long-Term Behaviour of Railway Vehicles, Track and Subgrade. 2013. Springer Science and Business Media. - 488 p.

3 **Wang, K. & Huang, C. & Zhai, W. & Liu, P. & Wang, S.** Progress on wheel-rail dynamic performance of railway curve negotiation. Journal of Traffic and Transportation Engineering. Vol. 1. No. 3. 2014. P. 209-220.

4 **Киселев И.П.** Высокоскоростной железнодорожный транспорт. Общий курс: учеб. пособие: в 2 т./ И.П. Киселёв и др.; под ред. И.П. Киселёва.-М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. Т.2. - 372 с.

5 **Оганьян Э.С., Волохов Г.М.** Расчеты и испытания на прочность несущих конструкций локомотивов: учеб. пособие. - М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. - 326 с.

6 **Бирюков И.С., Савоськин А.Н.** Механическая часть подвижного состава. / Под ред. И.С. Бирюкова, А.Н. Савоськина и др. М.: Транспорт, 1992. – 440 с.

7 **Савоськин А.Н.** Прочность и безотказность подвижного состава железных дорог. / А.Н. Савоськин, Г.П. Бурчак, А.П. Матвеевичев и др.; под общ. ред. А.Н. Савоськина. М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.

8 **Файзибаев Ш.С., Хромова Г.А.** Оптимизация работы колеса и рельса путем снижения контактных напряжений при динамическом взаимодействии колесных пар подвижного состава: монография. -Т.: «Fan va technology», 2015. - 180 с.

9 **Хромова Г.А., Раджибаев Д.О., Хромов С.А.** Разработка методов расчета на динамическую прочность рамных конструкций локомотивов сложной конфигурации для транспортного машиностроения: монография. - Т.: «Fan va technology», 2021. - 160 с.

10 **Хромова Г.А., Раджибаев Д.О., Валиев М.Ш., Хромов С.А.** Квазистатический расчет на прочность рамы тележки электровоза ВЛ-80с. Программа для ЭВМ. (Свидетельство об официальной регистрации программы № DGU 07664, 31.04.2020 й.).

11 **Хромова Г.А., Раджибаев Д.О., Валиев М.Ш., Хромов С.А., Махамадалиева М.А.** Квазистатический расчет на прочность главной рамы кузова электровоза ВЛ-80с. Программа для ЭВМ. (Свидетельство об официальной регистрации программы № DGU 10286, 24.02.2021 г.).

12 **Radjibayev D. O., Khromova G. A., Juraev O.S., Sabirov N. K.** Algorithm and methodology for evaluating reliability indicators of a large gear wheel of a traction gearbox for an electric locomotive. *International Journal "Eurasian journal of academic research"*, Volume 2 Issue 12, November 2022, pp.1102-1106.

13 **Avdeeva A., Khromova G., Radjibaev D.** Two-axle bogie vibration damping system with additional damping elements. *E3S Web of Conferences*, 2023, pp.233-240. 10.1051/e3sconf/202336502003

14 **Khromova G.A., Ytkina I.S. and Mukhamedovav Z.G.** Mathematical model of oscillations of bearing body frame of emergency and repair railcars. *International Journal "Transport problems"*, № 12(1), pp. 93-103.

15 **Хромова Г.А., Раджибаев Д.О., Хромов С.А.** Разработка математической модели расчета прочности главной рамы кузова электровоза ВЛ80с для железнодорожной техники. // Вестник ТашИИТ, ТашИИТ, 2020, №1. С.42-48.

Galina Khromova, Davran Radjibaev, Adham Mavlyanov
Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Method of calculation of dynamic strength of frame structures of locomotives of complex configuration for transport engineering

Abstract. This article proposes a new generalized analytical and numerical method for calculating the dynamic strength of the load-bearing frame of a locomotive frame of complex configuration, assuming its vibrations according to a beam-type scheme with elastic pinching of the ends under the action of a harmonic load, when an electric locomotive is moving along a track with periodic butt irregularities, at increased speeds.

The following is a calculation algorithm and a flowchart for modeling the stress-strain state of the load-bearing frame of a locomotive frame of complex configuration in the form of an elastic rod of variable cross-section with variable mass, bending and longitudinal stiffness.

The results of a numerical study on the stress-strain state of the load-bearing frame of the locomotive body frame are presented, taking into account the installation of reinforcing linings during modernization, and the results of a mathematical model of the locomotive body frame of complex configuration are compared with a model constructed using the finite element method in the Solid Works software product.

Taking into account the results of experimental studies during full-scale dynamic tests of truck frames and main body frames of VL-80s electric locomotives when moving along a rail track under various loading conditions, a scientific justification is being carried out for the modernization of truck frames and main body frames of this type of locomotive during major repairs.

An engineering method of analytical and numerical calculation is proposed, which allows for quasi-static and dynamic modeling of the stress-strain state of the main body frame and locomotive bogie frames with an upgraded reinforced load-bearing frame, based on numerical calculation programs for which 2 certificates of official registration of the computer program of the Republic of Uzbekistan have been obtained (No. DGU 07664, 04/31/2020 and No. DGU 10286 dated 02/24/2021).

Key words: Electric locomotive, main frame of electric locomotive body, dynamic loads, stress-strain state of main frames of electric locomotives, fatigue strength factor, major repair of main frames of electric locomotives

Галина Хромова, Давран Раджибаев, Адам Мавлянов
Ташкент Мемлекеттік Көлік Университеті, Ташкент, Өзбекстан

Көлік техникасы үшін күрделі конфигурациядағы локомотивтердің рамалық конструкцияларының динамикалық беріктігін есептеу әдісі

Аңдатпа. Бұл мақалада күрделі конфигурациядағы локомотив рамасының жүк көтергіш рамасының динамикалық беріктігін есептеудің жаңа жалпыланған аналитикалық және сандық әдісі ұсынылған, оның тербелістерін сәулелік типтегі схема бойынша ұштардың серпімді қысылуымен ескере отырып гармоникалық жүктеме, электровоз мезгіл-мезгіл бөксесі бұзылған жол бойымен жоғары жылдамдықпен қозғалғанда.

Төменде есептеу алгоритмі және өзгермелі массасы, иілгіштігі және бойлық қаттылығы бар ауыспалы қиманың серпімді штангасы түріндегі күрделі конфигурациядағы локомотив рамасының жүк көтергіш рамасының кернеу-кернеу күйін модельдеуге арналған блок-схема келтірілген.

Модернизация кезінде арматуралық төсемдерді орнатуды ескере отырып, локомотив корпусының қаңқасының жүк көтергіш қаңқасының кернеулі-кернеулі күйін сандық зерттеу нәтижелері келтірілген, ал күрделі конфигурациядағы локомотив корпусының рамасының математикалық моделінің нәтижелері Салыстырылады. Solid Works бағдарламалық өніміндегі ақырлы элемент әдісін қолдану арқылы жасалған модельмен.

Тәжірибелік зерттеулердің нәтижелерін ескере отырып, вл-80с электровоздарының жүк рамалары мен негізгі корпусының рамаларын толық көлемді динамикалық сынау кезінде теміржол бойымен әр түрлі тиеу жағдайларында қозғалу кезінде ғылыми негіздеме жасалуда. күрделі жөндеу кезінде локомотивтің осы түрінің жүк рамалары мен негізгі корпусының рамаларын модернизациялау.

Аналитикалық және сандық есептеудің инженерлік әдісі ұсынылған, ол негізгі корпустың қаңқасының кернеулі-кернеулі күйін квазистатикалық және динамикалық модельдеуге мүмкіндік береді. жаңартылған күшейтілген жүк көтергіш қаңқасы бар локомотив боги рамалары, сандық есептеу бағдарламалары негізінде Өзбекстан Республикасының компьютерлік бағдарламасын ресми тіркегені туралы 2 сертификат алынды (Жоқ. DGU 07664, 31.04.2020 және Жоқ. 24.02.2021 ЖЫЛҒЫ DGU 10286).

Түйін сөздер: электровоз, электровоз корпусының негізгі қаңқасы, динамикалық жүктемелер, электро-воздардың негізгі рамаларының кернеулі-кернеулі күйі, шаршағыштық коэффициенті, электровоздардың негізгі рамаларын күрделі жөндеу

References

- 1 **Spiryagin, M. & Cole C. & Sun, Y.Q. & McClanachan, M. & Spiryagin, V. & McSweeney, T.** Design and Simulation of Rail Vehicles. Ground Vehicle Engineering series. 2014. CRC Press. - 337 p.
- 2 **Popp, K. & Schiehlen, W.** System Dynamics and Long-Term Behaviour of Railway Vehicles, Track and Subgrade. 2013. Springer Science and Business Media. - 488 p.
- 3 **Wang, K. & Huang, C. & Zhai, W. & Liu, P. & Wang, S.** Progress on wheel-rail dynamic performance of railway curve negotiation. Journal of Traffic and Transportation Engineering. Vol. 1. No. 3. 2014. P. 209-220.

4 **Kiselev I.P.** High-speed rail transport. General course: textbook: in 2 volumes / I.P. Kiselev et al.; edited by I.P. Kiselev. - М.: Federal State Budgetary Educational Institution «Educational and Methodological Center for Education in Railway Transport», 2014. V.2.-372 p.

5 **Oganyan E.S., Volohov G.M.** Calculations and strength tests of locomotive load-bearing structures: textbook. manual. - М.: Federal State Budgetary Educational Institution «Educational and Methodological Center for Education in Railway Transport», 2013.-326 p.

6 **Biryukov I.S., Savoskin A.N.** Mechanical part of rolling stock. / Ed. I.S. Biryukova, A.N. Savoskina et al. М.: Transport, 1992. – 440 p.

7 **Savoskin A.N.** Durability and reliability of railway rolling stock. / A.N. Savoskin, G.P. Burchak, A.P. Matveevichev et al.; edited by A.N. Savoskin. Moscow: Mashinostroenie, 1990.– 288 p.

8 **Fayzibaev Sh.S., Khromova G.A.** Optimization of wheel and rail operation by reducing contact stresses during dynamic interaction of rolling stock wheel pairs. *Monograph*.-Т.: «Fan va texnologiya», 2015.-180 p.

9 **Khromova G.A., Khromov S.A. and Radzhibaev D.O.** Development of methods for calculating the dynamic strength of frame structures of locomotives of complex configuration for transport engineering. *Monograph*.-Т.: “Fan va texnologiya”, 2021.-160 p.

10 **Khromova G.A., Radzhibaev D.O., Valiev M. Sh. and Khromov S.A.** Quasi-static calculation for the strength of the bogie frame of the electric locomotive VL-80s (*certificate of official registration of the computer program of the Republic of Uzbekistan No. DGU 07664*).

11 **Khromova G.A., Radzhibaev D.O., Valiev M. Sh., Khromov S. A. and Makhamadalieva M. A.** Quasi-static strength analysis of the main frame of the VL-80s electric locomotive (*certificate of official registration of the computer program of the Republic of Uzbekistan No. DGU 10286*).

12 **Radjibayev D. O., Khromova G. A., Juraev O.S., Sabirov N. K.** Algorithm and methodology for evaluating reliability indicators of a large gear wheel of a traction gearbox for an electric locomotive. *International Journal “Eurasian journal of academic research”*, Volume 2 Issue 12, November 2022, pp.1102-1106.

13 **Avdeeva A., Khromova G., Radjibaev D.** Two-axle bogie vibration damping system with additional damping elements. *E3S Web of Conferences*, 2023, pp.233-240. 10.1051/e3sconf/202336502003

14 **Khromova G.A., Ytkina I.S. and Mukhamedovav Z.G.** Mathematical model of oscillations of bearing body frame of emergency and repair railcars. *International Journal “Transport problems”*, № 12(1), pp. 93-103.

15 **Khromova G.A., Radzhibaev D.O., Khromov S.A.** Development of a mathematical model for calculating the strength of the main frame of the body of an electric locomotive VL80s for railway engineering. // *Journal “Vestnik TashIIT”*, TashIIT, 2020, No. 1, p.42-48.

Сведения об авторах:

Галина Хромова – доктор технических наук, профессор кафедры «Электроподвижной состав», Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан.

Даврон Раджибаев – доктор технических наук, доцент кафедры «Электроподвижной состав», Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан.

Адхам Мавлянов – докторант кафедры «Электроподвижной состав», Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан.

Галина Хромова – техника ғылымдарының докторы, электр Жылжымалы құрам кафедрасының профессоры, Ташкент мемлекеттік көлік университеті, Ташкент, Өзбекстан

Даврон Рәжібаев – техника ғылымдарының докторы, кафедра доценті электр Жылжымалы құрам, Ташкент мемлекеттік көлік университеті, Ташкент, Өзбекстан

Адхам Мавлянов – кафедраның докторанты электр Жылжымалы құрам, Ташкент мемлекеттік көлік университеті, Ташкент, Өзбекстан

Galina Khromova – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Electric Rolling Stock, Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Davron Radjibaev – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electric Rolling Stock, Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Adham Mavlanov – PhD Student, Department of Electric Rolling Stock, Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan



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 73.37.75

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-150-1-22-30>

Article

Competence model of an aviation specialist

M.E. Kalekeyeva¹, G.V. Muratbekova¹, O.V. Garmash¹, I.ZH. Assilbekova¹,
M. Amanova¹

Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan

*(E-mail: *kalekeeva.m@mail.ru)*

Abstract. This article examines the competence model of an aviation specialist, consisting of several key components: technical knowledge, practical experience, communication and analytical skills, managerial expertise and an emphasis on continuous learning. Technical knowledge includes an understanding of aviation systems, aerodynamics, flight mechanics and relevant safety standards. Practical experience covers working with equipment, participating in maintenance and repair, as well as working with databases and software. Communication skills are necessary for effective interaction with the team and clients, presentation of technical information and writing reports. Analytical skills are important for data analysis and problem solving, while management expertise includes the organization of work processes and project management. Educational programs must meet international standards and requirements, providing students with up-to-date knowledge and skills for a successful career in the aviation industry. It is important to take into account current technological trends and the changing needs of the industry in order to maintain a high level of professional training. Students must also be able to adapt to new challenges and requirements in order to be competitive in the global aviation job market. Constant self-development helps specialists stay relevant.

Keywords: aviation, competence model, technical knowledge, practical experience, training, standards, professional skills.

Received 06.11.2024. Revised 06.11.2024. Accepted 27.02.2025. Available online 31.03.2025

¹the corresponding author

Introduction

The competence model of an aviation specialist usually consists of several components (Figure 1) [1].



Figure 1. Competence model of an aviation specialist [1]

The first of these is technical knowledge – an understanding of the principles of operation of aviation systems, components and equipment. In-depth knowledge is required in the field of aerodynamics, flight mechanics and principles of aircraft construction, as well as knowledge of technical documentation and standards in the aviation industry. An understanding of basic procedures and regulatory requirements in the field of flight safety. The second is practical experience working with aviation systems, tools and equipment is essential, as is participation in the maintenance and repair of aviation components and systems. Experience working with aviation databases, software and control systems is also necessary. The ability to communicate effectively with the team and clients, the ability to present technical information in an understandable and accessible way, the skills of writing reports and documentation related to technical tasks and processes. The ability to analyze data and situations to identify problems and find solutions, the ability to make decisions based on a logical and systematic approach, the skills to diagnose and eliminate technical malfunctions. The ability to effectively organize work processes and tasks, the ability to coordinate team work and manage projects, an understanding of the principles of quality management and safety in aviation. Willingness to constantly update their knowledge and skills in accordance with changes in the aviation industry, the ability to independently study new technologies and procedures, participate in trainings, seminars and courses to improve professional competencies [1].

The methodology

The competence model of an aviation specialist is a system of knowledge, skills and experience necessary for successful work in this field (Figure 2) [2].

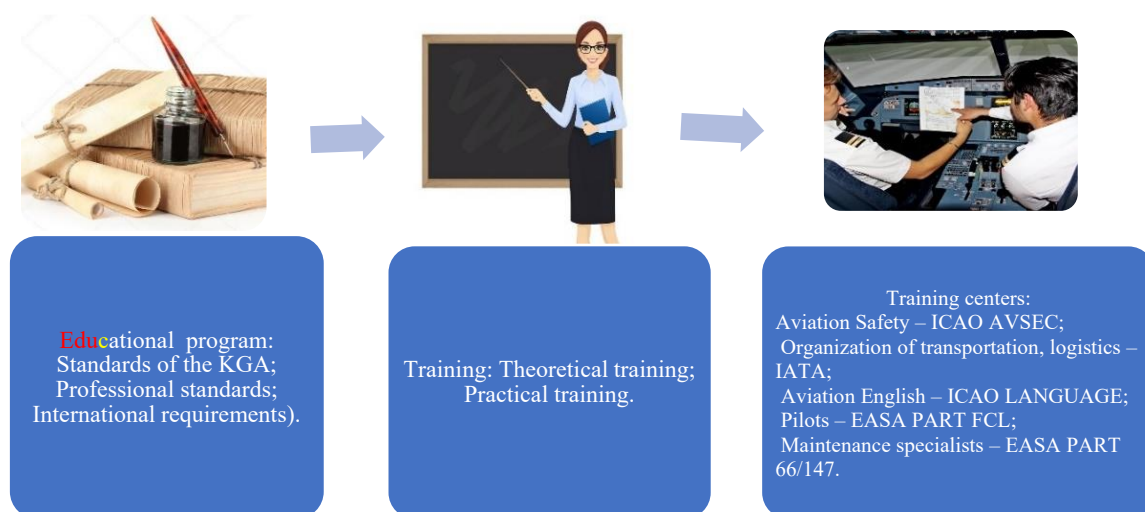


Figure 2. A system of knowledge, skills and experience for successful work in the field of civil aviation [2]

It covers technical expertise, communication, analytical and management skills, and emphasizes the importance of continuous learning and self-development to stay on trend in the rapidly developing aviation industry.

Educational programs in higher education institutions offering aviation education is developed taking into account the requirements and needs of the aviation industry. It must comply with regulations and requirements established by competent aviation organizations and government authorities. This may include state educational standards, safety standards, as well as specific aviation requirements related to training and certification. Professional standards are widely used in aviation, which define the requirements for the skills, knowledge and competencies of specialists. Professional standards are usually developed in collaboration with industry associations and organizations and define the necessary competencies for various professional roles in aviation [3].

And also in aviation, there are international standards and requirements developed by the International Civil Aviation Organization (ICAO), the European Aviation Safety Agency (EASA) and the International Air Transport Association (IATA) [4]. If the ICAO defines international standards and practices related to flight safety, navigation, environmental protection and other aspects of aviation, then EASA is the regulatory body of the European Union (EU) in the field of civil aviation [5]. It develops and regulates standards and regulations related to flight safety, aircraft certification, personnel training and licensing, technical requirements and other aspects of aviation in EU member States. IATA represents the interests of airlines and works to develop standards and recommendations related to the operation of aviation companies and to improve the quality and safety of air transport [7]. It develops standards and guidelines on baggage, ticketing, cargo transportation, security and other aspects that affect the operation of airlines.

These organizations play an important role in setting international standards and requirements in aviation. Educational programs in aviation should take into account these requirements and focus on ensuring that students meet high international standards and quality in order to prepare them for work in the global aviation industry [8].

The educational program should take into account modern technological and industrial requirements in aviation. This includes new developments in the field of aviation systems, components and equipment, as well as current procedures and working methods in the industry. It should be designed to meet the needs and expectations of employers and provide students with the necessary knowledge, skills and competencies for a successful career in aviation. Such programs typically provide students with a wide range of knowledge and skills needed to work in aviation. They include both theoretical training and practical training so that students gain a complete understanding of the work and requirements in the field.

Findings/Discussion

In theoretical training, students study:

- basic principles of aerodynamics, flight mechanics, navigation, electronics and other technical aspects of aviation;
- Lectures and seminars conducted by experienced teachers who share their knowledge and experience with students;
- Using modern educational technologies such as computer programs, visualizations and modeling to help students better understand complex concepts.

In practical training, students can gain practical experience in specialized aviation laboratories, simulation centers, aviation workshops or in practical classes within the framework of cooperation with aviation companies (Figure 3) [9].

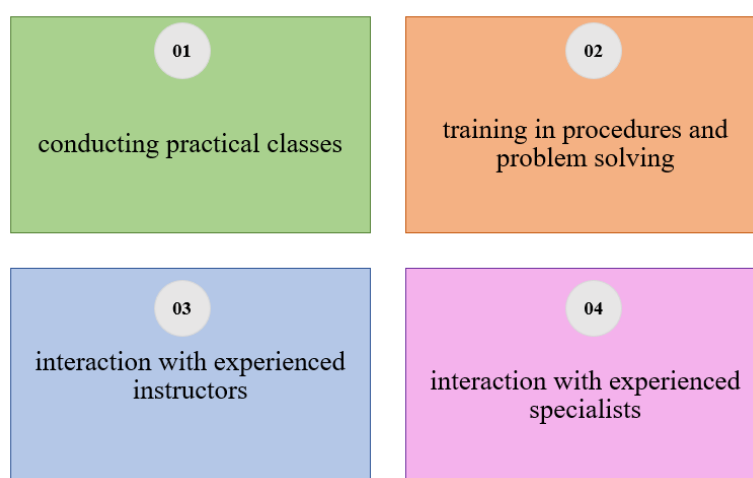


Figure 3. Advantages in practical training of students [9]

Practical training is the experience of working with real aviation systems, components and equipment:

- conducting practical classes, training and simulations where students can put their knowledge into practice;
- training in the implementation of procedures and solving problems faced by aviation professionals;

– interaction with experienced instructors and specialists who can provide feedback and guidance during practical training [10].

The training programs include the development of communication skills, such as the ability to communicate effectively in a team, compile technical reports and documentation, and interact with customers and other stakeholders. Students develop analytical skills for problem solving, data analysis, troubleshooting, and decision-making in the aviation field. Educational programs may include managerial skills such as the ability to organize work processes, coordinate team work, manage projects, and comply with regulatory requirements.

The Civil Aviation Academy supports students in their learning and development by providing access to a range of additional resources, updated knowledge, and professional development opportunities. These are officially accredited and certified centers that offer students the opportunity to gain practical experience and assess their skills. They use modern aviation equipment, simulators and software to provide realistic practical conditions, modeling real-world scenarios and situations so that students can apply their knowledge and skills in a controlled environment. In the end, certificates are issued confirming the students' qualifications in accordance with industry standards and requirements [8].

This structure of practice-oriented training at the Academy allows students to gain fundamental knowledge and apply it in practice using modern equipment and tools. The training is conducted in close cooperation with experienced teachers and specialists, providing students with the necessary support and feedback.

Conclusion

The competence model of an aviation specialist is a comprehensive approach to the education and training of professionals, including technical knowledge, practical experience, communication, analytical and managerial skills. Modern educational programs focused on the aviation industry must comply with international standards and requirements established by organizations such as ICAO, EASA and IATA in order to ensure high quality training of specialists. Training programs should include both theoretical and practical training, use modern technologies and provide access to relevant resources for continuous professional development. As a result of this approach, specialists will have the necessary competencies for a successful career in the rapidly developing aviation industry, able to effectively adapt to changes and new challenges in the industry.

Contribution of the authors

Kalekeyeva M.E. – made a significant contribution to the collection and analysis of literature on continuous robotic manipulators inspired by biological models. His work focuses on the study of the current state of this technology, its application and management issues, which contributes to the development of more flexible and adaptive robotic systems.

Muratbekova G.V. – participated in the development of the concept of work and writing the text of the article with the presentation of analytical data, ensuring the integrity of all parts of the article.

Garmash O.V. – participated in the critical revision of the content of the article and in the approval of the final version for publication

Assilbekova I.ZH., M.Amanova – participated in the development of the concept of work and writing the text of the article with the presentation of analytical data, ensuring the integrity of all parts of the article. References

References

1. Kompetencii aviacionnoj podgotovki: vazhnost' kompetencij aviacionnoj podgotovki: bolee pristol'nyj vzglyad // <https://fastercapital.com/ru/content/Kompetencii-aviacionnoj-podgotovki-vazhnost'-kompetencij-aviacionnoj-podgotovki--bolee-pristol'nyj-vzglyad.html> (data obrashcheniya 23.07.2024g.)
2. Қалекеева М.Е., Зхардемкы`зы` С., Гошхаметова М.А., Турлы`муратова М.Н. Problemy` i permpektivy` kadrovogo obespecheniya aviacionnoj otrasli. Vestnik KazATK №4 (127), 2023. – S. 60-67
3. Ob utverzhenii Kvalifikacionnyh trebovanij, pred'yavlyaemyh k fizicheskim licam, imeyushchim pravo opredelyat' uroven' kvalifikacii aviacionnogo personala // <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1300008786> (data obrashcheniya 20.07.2024g.)
4. The new international aviation Standards and Recommended Practices for remotely piloted aircraft systems // <https://unitingaviation.com/news/safety/the-new-international-aviation-standards-and-recommended-practices-for-remotely-piloted-aircraft-systems/>
5. EASA: 20 years of safe aviation // <https://www.easa.europa.eu/en/light/topics/easa-20-years-safe-aviation>
6. Mezhdunarodnaya asociaciya vozdušnogo transporta IATA // <https://agent.aero/blog/mezhdunarodnaya-associaciya-vozdušnogo-transporta-iata> (data obrashcheniya 15.07.2024g.)
7. The international air transport association (IATA) and its role in international business // <https://vhmb1987internationalbusiness.blogspot.com/2010/09/international-air-transport-association.html> (data obrashcheniya 17.07.2024g.)
8. Novye vozmozhnosti dlya kazahstanskih studentov v aviacii: mezhdunarodnoe sotrudnichestvo // <https://bolashak.gov.kz/ru/allnews/novye-vozmozhnosti-dlya-kazahstanskih-studentov-v-aviacii-mezhdunarodnoe-sotrudnichestvo> (data obrashcheniya 20.07.2024g.)
9. Aviation engineering students to gain vital practical experience thanks to university-industry collaboration // <https://investlithuania.com/news/aviation-engineering-students-to-gain-vital-practical-experience-thanks-to-university-industry-collaboration/> (data obrashcheniya 20.07.2024g.)
10. Why Practical Training is a Must-Have for AME Students // <https://www.amecet.in/blog/?p=2017> (data obrashcheniya 23.07.2024g.)

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

«Академия гражданской авиации», Алматы, Казахстан

Компетентностная модель специалиста в сфере авиации

Аннотация. В данной статье рассматривается компетентностная модель специалиста в авиационной сфере, состоящая из нескольких ключевых компонентов: технических знаний, практического опыта, коммуникативных и аналитических навыков, управленческой экспертизы и

акцента на постоянное обучение. Технические знания включают понимание авиационных систем, аэродинамики, механики полета и соответствующих нормативов безопасности. Практический опыт охватывает работу с оборудованием, участие в обслуживании и ремонте, а также работу с базами данных и программным обеспечением. Коммуникативные навыки необходимы для эффективного взаимодействия с командой и клиентами, представления технической информации и написания отчетов. Аналитические способности важны для анализа данных и решения проблем. Управленческая экспертиза включает организацию рабочих процессов и управление проектами. Образовательные программы должны соответствовать международным стандартам и требованиям, обеспечивая студентам современные знания и навыки для успешной карьеры в авиационной индустрии. Важно учитывать современные технологические тренды и изменяющиеся потребности отрасли, чтобы поддерживать высокий уровень подготовки специалистов. Студенты также должны уметь адаптироваться к новым вызовам и требованиям, чтобы быть конкурентоспособными на мировом авиационном рынке труда. Постоянное саморазвитие помогает специалистам оставаться актуальными.

Ключевые слова: авиация, компетентностная модель, технические знания, практический опыт, обучение, стандарты, профессиональные навыки.

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

Азаматтық авиация академиясы, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

Авиация саласындағы маманның құзыреттілік моделі

Аңдатпа. Бұл мақалада бірнеше негізгі компоненттерден тұратын авиация саласындағы маманның құзыреттілік моделі қарастырылады: техникалық білім, практикалық тәжірибе, коммуникативті және аналитикалық дағдылар, басқарушылық сараптама және тұрақты оқытуға баса назар аудару. Техникалық білім авиациялық жүйелерді, аэродинамиканы, ұшу механикасын және тиісті қауіпсіздік ережелерін түсінуді қамтиды. Практикалық тәжірибе жабдықпен жұмыс істеуді, техникалық қызмет көрсету мен жөндеуге қатысуды, сондай-ақ мәліметтер базасы мен бағдарламалық жасақтаманы қамтиды. Қарым-қатынас дағдылары топпен және клиенттермен тиімді қарым-қатынас жасау, техникалық ақпаратты ұсыну және есептер жазу үшін өте маңызды. Аналитикалық қабілеттер деректерді талдау және мәселелерді шешу үшін маңызды. Басқарушылық сараптама жұмыс процестерін ұйымдастыруды және жобаларды басқаруды қамтиды. Білім беру бағдарламалары халықаралық стандарттар мен талаптарға сай болуы керек, студенттерге авиация саласындағы табысты мансап үшін заманауи білім мен дағдыларды қамтамасыз етуі керек. Мамандарды даярлаудың жоғары деңгейін ұстап тұру үшін заманауи технологиялық трендтер мен саланың өзгеріп отыратын қажеттіліктерін ескеру маңызды. Студенттер сонымен қатар әлемдік авиациялық еңбек нарығында бәсекеге қабілетті болу үшін жаңа сынақтар мен талаптарға бейімделе білуі керек. Үнемі өзін-өзі дамыту мамандарға өзекті болып қалуға көмектеседі.

Түйін сөздер: авиация, құзыреттілік моделі, техникалық білім, практикалық тәжірибе, оқыту, стандарттар, кәсіби дағдылар.

References

1. Kompetencii aviacionnoj podgotovki: vazhnost' kompetencij aviacionnoj podgotovki: bolee pristal'nyj vzglyad // <https://fastercapital.com/ru/content/Kompetencii-aviacionnoj-podgotovki--vazhnost'-kompetencij-aviacionnoj-podgotovki--bolee-pristal'nyj-vzglyad.html> (data obrashcheniya 23.07.2024g.)
2. K alekeeva M.E., Zhardemky`zy` S., Gozhaxmetova M.A., Turly`muratova M.N. Problemy` i permpektivy` kadrovogo obespecheniya aviacionnoj otrasli. Vestnik KazATK №4 (127), 2023. – S. 60-67
3. Ob utverzhdenii Kvalifikacionnyh trebovanij, pred"yavlyaemyh k fizicheskim licam, imeyushchim pravo opredelyat' uroven' kvalifikacii aviacionnogo personala // <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1300008786> (data obrashcheniya 20.07.2024g.)
4. The new international aviation Standards and Recommended Practices for remotely piloted aircraft systems // <https://unitingaviation.com/news/safety/the-new-international-aviation-standards-and-recommended-practices-for-remotely-piloted-aircraft-systems/>
5. EASA: 20 years of safe aviation // <https://www.easa.europa.eu/en/light/topics/easa-20-years-safe-aviation>
6. Mezhdunarodnaya asociaciya vozdušnogo transporta IATA // <https://agent.aero/blog/mezhdunarodnaya-associaciya-vozdušnogo-transporta-iata> (data obrashcheniya 15.07.2024g.)
7. The international air transport association (IATA) and its role in international business // <https://vhmb1987internationalbusiness.blogspot.com/2010/09/international-air-transport-association.html> (data obrashcheniya 17.07.2024g.)
8. Novye vozmozhnosti dlya kazahstanskih studentov v aviacii: mezhdunarodnoe sotrudnichestvo // <https://bolashak.gov.kz/ru/allnews/novye-vozmozhnosti-dlya-kazahstanskih-studentov-v-aviacii-mezhdunarodnoe-sotrudnichestvo> (data obrashcheniya 20.07.2024g.)
9. Aviation engineering students to gain vital practical experience thanks to university-industry collaboration // <https://investlithuania.com/news/aviation-engineering-students-to-gain-vital-practical-experience-thanks-to-university-industry-collaboration/> (data obrashcheniya 20.07.2024g.)
10. Why Practical Training is a Must-Have for AME Students // <https://www.amecet.in/blog/?p=2017> (data obrashcheniya 23.07.2024g.)

Information about the authors:

Kalekeyeva M.E. – corresponding author, 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, kalekeeva.m@mail.ru

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

Garmash O.V. – Candidate of Technical Sciences, associate Professor Academy of Civil Aviation, Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan, 8-777-087-36-19, olm78@mail.ru

Assilbekova I.ZH. – Candidate of Technical Sciences, Professor "Academy of Civil Aviation", Akhmetov str. 44, 050039, Almaty, Kazakhstan, 8-701-355-34-69, a.indira71@mail.ru

M.Amanova – Candidate of Technical Sciences, Professor "Academy of Civil Aviation"

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

Муратбекова Г.В. – к.т.н., доцент, АО «Академия гражданской авиации», ул. Ахметова 44, 050039, г.Алматы, Республика Казахстан, 8-701-414-04-07, gv170471@mail.ru

Гармаш О.В. – к.т.н., ассоц. профессор АО «Академия гражданской авиации», ул. Ахметова 44, 050039, г.Алматы, Республика Казахстан, 8-777-087-36-19, olm78@mail.ru

Асильбекова И.Ж. – к.т.н., профессор АО «Академия гражданской авиации», ул. Ахметова 44, 050039, г.Алматы, Республика Казахстан, 8-701-355-34-69, a.indira71@mail.ru

М. Аманова – к.т.н., профессор АО «Академия гражданской авиации»

Қалекеева М.Е. – хат-хабар авторы, «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

Муратбекова Г.В. – т.ғ.к., доцент, «Азаматтық авиация академиясы» АҚ, Ахметова көшесі, 44, 050039, Алматы қ., Қазақстан Республикасы, 8-701-414-04-07, gv170471@mail.ru

Гармаш О.В. – т.ғ.к., қауымдастырылған профессор ААА, Азаматтық авиация академиясы, Алматы қ., Қазақстан, 8-777-087-36-19, olm78@mail.ru

Асильбекова И.Ж. – т.ғ.к., професоор «Азаматтық Авиация Академиясы» АҚ, Ахметов көшесі 44, 050039, Алматы қ., Қазақстан Республикасы, 8-701-355-34-69, a.indira71@mail.ru

М.Аманова – т.ғ.к., қауымдастырылған профессор ААА



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 20.15.05

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-150-1-31-45>

Review

Development of a Mobile Application for the Detection and Notification of Road Accidents

A.K. Aitim¹, A.A. Kakharman^{1*}, D.S. Iyembergen¹, O.E. Kassymbayev¹,
Y.Y. Malikomar¹

International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

(E-mail: aizhankakharman@gmail.com)

Abstract. For the last few decades, road accidents have been experienced at an exponential rate across the globe hence the need for efficient emergency response systems. However, the current conventional car accident detection systems lack the ability to be installed in ordinary car brands and are exclusively costly. Mobile disaster alert applications provide one example using smartphone application to alert the disaster response services. This systematic review examines the latest developments in the field of mobile applications for traffic safety alerts, focusing on their potential in terms of emergency response time and improving user convenience. The main purpose of this review is to evaluate the effectiveness of mobile accident warning applications and their usability. Studies from academic databases, including Google Scholar, Scopus, JSTORE, and IEEE Xplore, published since 2010 were reviewed. Inclusion criteria included studies that examined mobile-based applications for road safety, with a focus on real-time notification and usability testing. The results indicate that mobile alert applications can significantly improve emergency response times, especially when equipped with automated notification. This work contributes to the field of public safety by emphasizing the accessibility and scalability of mobile road safety solutions, and by highlighting areas for improvement in usability and reliability.

Keywords: mobile alert applications, road safety, accident traffic, crash detection, mobile applications, car accident.

Received 20.11.2024. Revised 17.02.2025. Accepted 21.02. 2025. Available online 31.03.2025

¹the corresponding author

Introduction

Road traffic crashes retain their global threat as a leading public health issue with high mortality and injury incidences. Other technological intervention measures have been recommended and adopted to solve the problem of prompt emergency response, but the constraints are the accessibility and the user awareness. Despite growing interest in the development of mobile applications for emergency notification, there is a lack of comprehensive research evaluating their effectiveness and user acceptance. This systematic review examines recent advances in mobile road safety alert applications, focusing on real-time incident detection, immediate notification systems and user experience.

The object of this study is mobile road safety alert applications specifically designed to improve emergency response time and reduce fatalities from traffic accidents. The subject is the various factors that impact the usability, functionality, and overall effectiveness of these applications in real-world scenarios. Therefore, it is the purpose of this study to carry out a critical examination of the utility and reception of existing mobile alert applications in traffic accident cases to support the proposed benefit of lowering the identification time of the exact status and increasing safety among the public. Specific research goals include assessing the technological methods employed in such applications, investigating app usage and user satisfaction, and assessing the weaknesses and possible research directions of the given applications. The hypothesis of this work is that mobile road safety alert applications can dramatically enhance Emergency Response Time and the satisfaction of end-users by being compatible with accurate detection components and responsive interfaces. The research questions are:

RQ1: To what extent do mobile road safety alert applications effective in the minimization of response time?

RQ2: What are the most important issues the users have when it comes to usability and reliability of these applications?

RQ3: Further improvement on the technological and design may be made to maximize the functionality of the mobile alert systems?

Literature Review

The literature review underlines several Android based mobile Road safety alert applications and analyses the capability of these in enhancing the safety of the public. For example, studies such as Karolemeas investigate the effectiveness of mobile alert systems by assessing user preferences, willingness to pay, and the value of real-time notification applications for drivers in the EU (Karolemeas et al., 2024). The results show that applications with clear, actionable messages and reliable technology can help drivers avoid dangerous areas and inform emergency services in a timely manner.

Espinoza designed a mobile application including a panic button through which bystander can alert the nearby hospitals and emergency services. In their study, they implement the usage of Scrum methodology to design an interface which is easy to use, and the results showed that immediate notification can reduce response time minimally (Espinoza et al., 2021). However,

this app has a disadvantage since it does not detect accidents independently, and the alert can only be activated by the bystander.

The study also recognizes that despite the many technological changes and available mobile safety applications there are still issues prevailing. Today's research has tended to concentrate on technical parameters or user satisfaction in abstract environments. Insufficient research into user acceptance and its counterpart of technical reliability exists, which considers multiple factors that distinguish actual usage scenarios and in-vehicle systems use in low-income or rural environments. Furthermore, those looking into willingness to pay do not consider how such applications could be deployed in areas of different socio-economic status. Research could attend these deficiencies in subsequent work through determining user experience across the demographical strata and understand the performance of the applications in different traffic and environmental conditions. The next section on methodology will elaborate on this.

The methodology

In order to ensure a thorough, accurate and transparent evaluation, a clear and structured methodology is required when conducting a systematic analysis of mobile applications for road accident detection and reporting. The techniques used to specify eligibility requirements, data sources, search tactics, selection procedures, and data collection and analysis are described in detail in this section. The procedures for assessing reliability, impact metrics, generalization techniques, reporting bias and research bias are also discussed.

To conduct the research more clearly, the study was divided into following 5 stages:

1. Formulation of research questions and hypotheses: Defined the scope, objectives and expected outcomes of the review.

2. Literature search and selection: Applied specific search criteria to identify relevant studies.

3. Data extraction and synthesis: Collected and organized relevant data from the selected studies.

4. Analysis of results and identification of gaps: Analyzed data results, identified patterns and highlighted gaps in research.

5. Assessment of risk of bias and certainty: Assessed the reliability and validity of the included studies.

It is important for the study to select relevant, popular articles from reliable sources. Inclusion and exclusivity criteria were developed to select articles as shown in Figure 1.

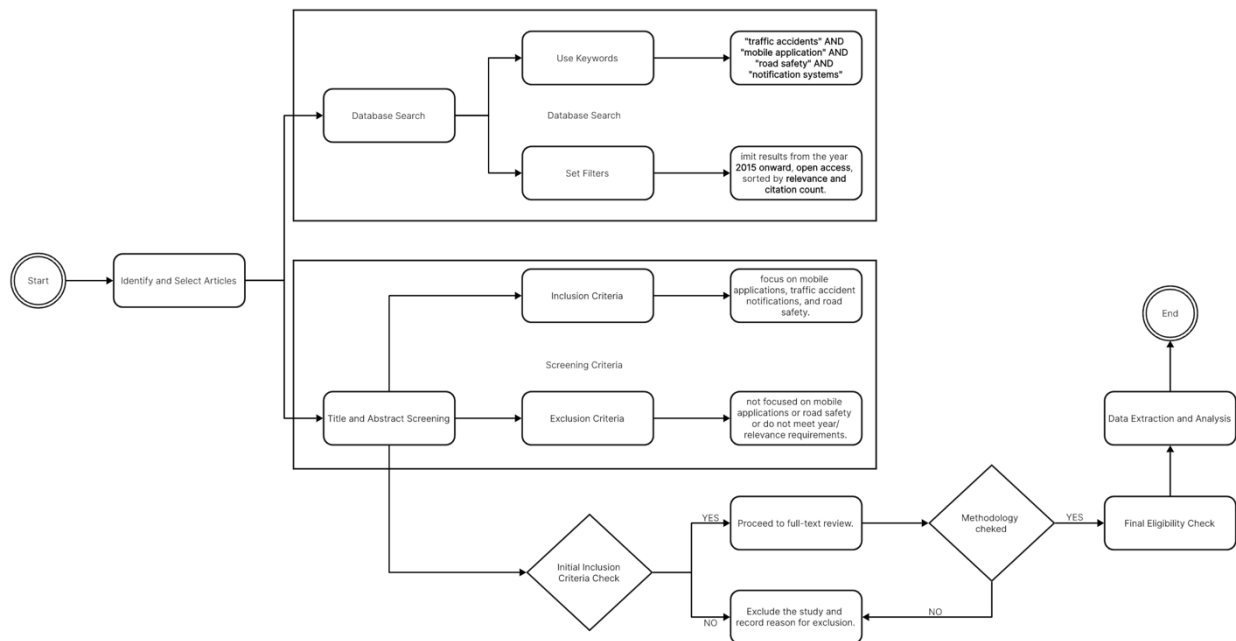


Figure 1. Article selection process Flow Chart

Figure describes that **Inclusion Criteria includes** studies from 2010 onwards, accessible in full text, published in English, focusing on mobile road safety alert applications with a focus on emergency response, usability, or sensor-based technologies.

Exclusion Criteria consists of studies published before 2010, non-English language articles, studies focusing solely on automotive in-car systems or applications without emergency alert functionality.

Studies were grouped based on their primary focus, either on (1) user-centered design and usability, (2) sensor and technology development, or (3) real-time notification impact.

The databases consulted included: Google Scholar, Scopus, JSTORE, IEEE Xplore. Filters applied were publication year (from 2010), open access, relevance ranking, and citation count. Key words used as search terms included: "car accident" OR "road traffic accident", "Sound-based accident detection" OR "audio-based car crash detection" OR "acoustic accident detection system", "Sound based algorithms" OR "voice identifier algorithms", AND "road safety" OR "vehicle collision" OR "car accident detection", AND "audio analysis" OR "sound frequency" OR "machine learning" OR "algorithm".

Study Selection Process was in the following format: 4 reviewers independently screened each title and abstract to assess relevance based on inclusion criteria. Automation tools were used to eliminate duplicates and filter for open-access studies. More detailed information shown in Figure 2.

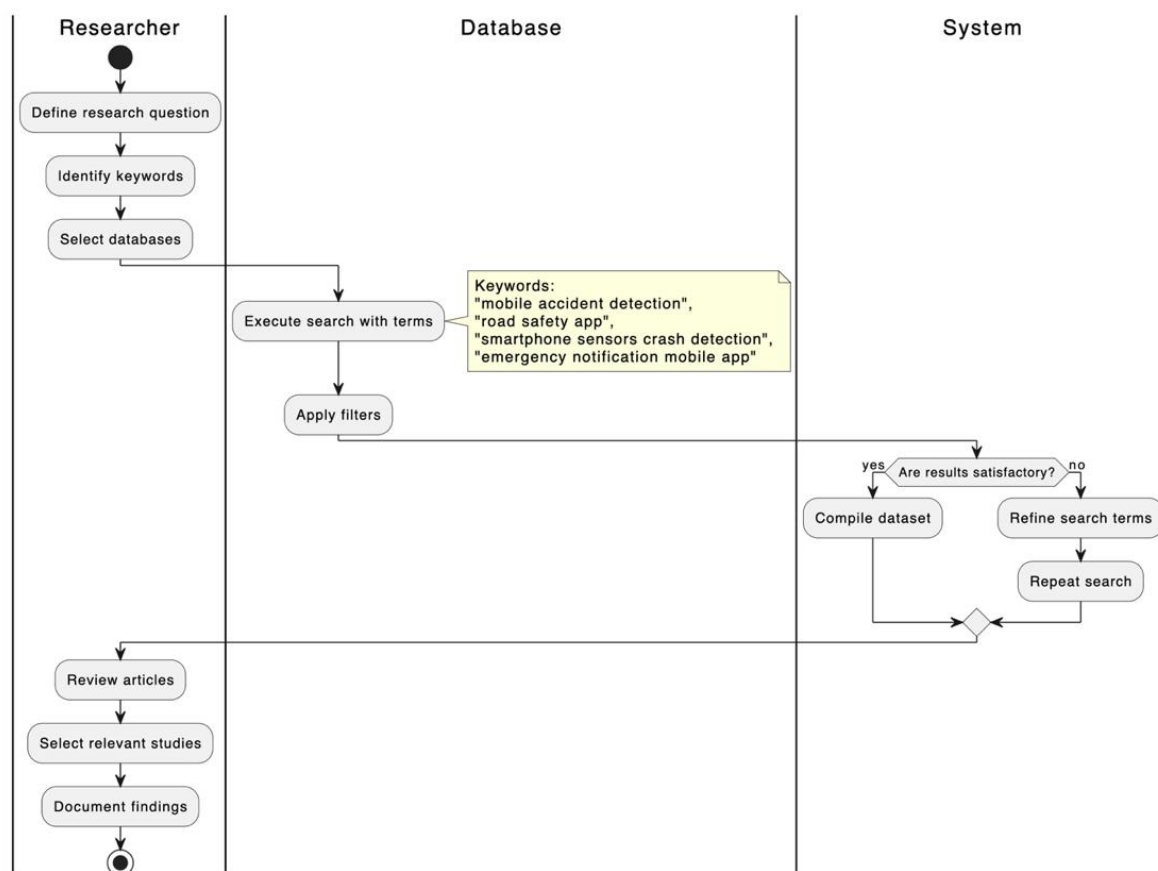


Figure 2. UML sequence diagram of Selection Process

This Figure presents an UML sequence diagram illustrating the process of conducting a systematic literature review on the topic of mobile applications for accident detection, road safety, and emergency notifications. The process is divided into three main components: Researcher, Database, and System.

Data Collection: For studies meeting the inclusion criteria, data was independently extracted by reviewer, then cross-verified to ensure accuracy.

Data was collected on the following outcomes: Emergency response time reduction, usability, and reliability of application features.

Each study was assessed independent by 4 reviewers and a final consensus was reached on the presence of bias. The categories of bias assessed included selection, implementation, detection and reporting biases.

To prepare the data for synthesis, missing data were accounted for using statistical imputation methods where appropriate. Descriptive statistics were calculated for quantitative measures, while qualitative data were summarized narratively.

Data from each study were presented in tabular form, showing key findings, sample characteristics, intervention type and outcome measures. Figures and tables were used to visualize trends between studies and to highlight variability in results.

Due to the heterogeneity of the study designs, a narrative synthesis was primarily used. Where possible, findings on usability, response time and detection accuracy were synthesized

to identify overall trends and notable differences. For quantitative data, a meta-analysis was not performed due to differences in methodology, but a summary of effect sizes was included where consistent metrics were available.

Differences in study settings, technologies and user demographics were explored qualitatively to understand sources of variability. For example, subgroup analyses based on technology type (e.g. GPS-only versus accelerometer-based tracking) were conducted to identify differences in performance.

Bias and certainty of evidence: to assess potential bias due to incomplete reporting, an assessment of risk of bias due to missing outcomes was conducted, and framework was used to assess the certainty of evidence for key outcomes.

In conclusion, the study has been divided into five stages, each of which provides a step-by-step description of how the articles were selected, the strategies and academic databases used, the methods of data collection and analysis, and the results. This structured methodology ensures a systematic and rigorous evaluation of mobile road safety applications, focusing on their effectiveness, usability and technological capabilities in improving emergency response times.

Findings/Discussion

Results of the search were exported to a reference managing database (Zotero). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses (PRISMA) guidelines were followed in Figure 3.

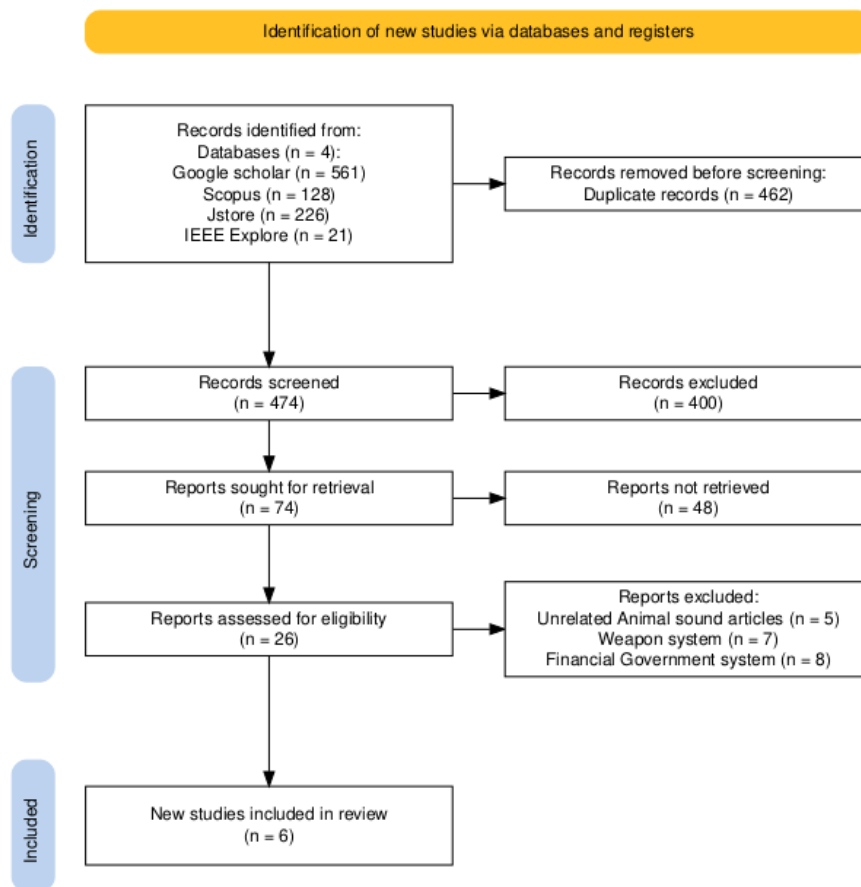


Figure 3. PRISMA flow diagram

Totally Figure 3 shows PRISMA flow diagram. In this diagram it is illustrated that titles and abstracts as well as full texts of potentially relevant articles were selected for review. The inclusion criteria included studies dealing with audio-based crash detection systems, sound analysis of vehicle collisions and audio signal processing for roadside incident identification. Due to the limited number of articles focusing solely on sound-based crash detection systems, the inclusion criteria were expanded to include studies that used sound data to detect crashes and other road incidents. Exclusion at each stage of the review was applied according to the criteria presented in the PRISMA diagram. In the initial selection phase, articles related to sound systems not related to car crashes, sound analyses without applications in road safety, and studies using other types of sensors such as video and GPS and also animal sound and financial research were excluded. Exclusions at the full text stage included articles with no empirical data, articles with only expert opinions, expert statements, and historical reviews, and articles that did not have outcome data on the application of sound methods to crash detection.

The overall *quality of the evidence was assessed using the quality assessment tool for studies with diverse designs (QATSDD)*. This tool allows you to compare research with various methodological developments. Interpretation of the results obtained may then allow classifying evidence into evidence of low (<50%), medium (50-80%) or high (> 80%) quality.

An initial search revealed 936 records, of which 474 remained after the duplicates were deleted. After the initial selection, 26 full texts of articles were evaluated for compliance with the inclusion criteria. There was a limited amount of scientific literature on this topic, and only 6 articles met the expanded inclusion criteria. By implementation QATSDD lets evaluate level of article quality.

Table 1. Evaluation of research on a sound-based accident detection system (QATSDD).

QATSDD Criteria	Study					
	TVSN	Crashzam	ADV OBD2	IDAE	AADMA	DACN
Explicit theoretical framework	3	3	2	2	1	3
Statement of aims/objectives in main body of report	2	3	3	1	2	2
Clear description of research setting	2	3	3	1	3	3
Evidence of sample size in terms of analysis	3	2	3	1	3	3
Representative sample of target group of reasonable size	0	1	2	1	3	3
Description of procedure for data collection	3	3	2	1	1	3
Rationale for choice of data collection tool(s)	3	3	2	0	2	3
Detailed recruitment data	0	2	1	2	1	2

Statistical assessment of reliability and validity of measurement tool (Quantitative only)	0	0	0	0	0	0
Fit between stated research question and method of data collection (Quantitative only)	3	1	2	2	1	2
Fit between research question and method of analysis (Quantitative only)	3	3	1	0	0	3
Good justification for analytical method selected	3	3	3	3	3	3
Evidence of user involvement in design	-	-	-	-	-	-
Strengths and limitations critically discussed	1	1	1	0	1	1
Total score	26/39	28/39	25/39	15/39	21/39	31/39
% of maximum possible core	66	71	64	38	55	80

In summary Table 1 presents a quality assessment for studies related to a sound-based accident detection system, using the QATSDD criteria. The table compares seven studies (TVSN, Crashzam, ADVN OBD2, IDEA, AADMA, and DACN) across various quality indicators with scores out of a maximum of 3 for each criterion. Articles are evaluated on a scale from 0 to 3 for each criterion; 0 – not at all; 1 – very slightly; 2 – moderately; 3 – complete. Interpretation of the results obtained may then allow classifying evidence into evidence of low (<50%), medium (50-80%) or high (> 80%) quality. The total scores range from 15 to 31 out of 39, with DACN achieving the highest quality score (31/39, 80%) and IDAE the lowest (15/39, 38%). By the result more than 75% was High level article “Smartphone Based Automatic Incident Detection Algorithm and Crash Notification System for All-Terrain Vehicle Drivers” (Alwan, et al., 2015). Also, 38% Low level Article is “incident detection algorithm evaluation” (Martin et al.).

Table 2. MIVIA dataset

Training set		
	Events	Duration (s)
Background	-	2732
Car Crashes	200	326,38
Tire skidding	200	522,5

In total, Table 2 MIVIA dataset is structured to train the system to differentiate between normal environmental noise, crash events, and sounds that might suggest a potential accident (e.g., skidding). The presence of both crash and sliding sounds alongside background noise should help improve the model's accuracy in detecting real accident events.

Table 3. AXA Data Innovation Lab Dataset

Class	Sound Type	%
Crash	AXA Winterthur crash campaign	13
	Car Crash Time	87
Other	Harsh acceleration or deceleration	10
	Car horn	10
	Car door opening and closing	8
	Radio music	11
	People talking	14
	Tire skidding	10
	Car alarm	5
	Rain, hail, strong wind	10
	Engine during driving	22

Totally Table 3 shows the dataset, and is organized into different sound types, categorized by their relevance to car crashes and other background sounds. Each sound type is represented as a percentage, indicating its proportion in the dataset. This category includes various other sounds that might occur in or around a vehicle but are not related to accidents. These sounds serve to help the model distinguish between crash sounds and normal background noise.

The findings from this systematic review confirm the growing potential of sound-based car accident detection systems, aligning with existing research that suggests sound as a viable medium for accident detection.

Table 4. Summarizes key studies included in the systematic review.

	Methodology	Results	Limitations
TVSN	Machine learning model for sound classification using a dataset of recorded car accidents	F1 score of 0.95, high detection accuracy in controlled environments	Limited generalizability due to controlled setting, sensitivity to environmental noise
Crashzam	Audio-based accident detection using deep learning and sound signal processing	92% accuracy, real-time detection capabilities	False positives in urban environments with heavy traffic noise
ADV N OBD2	Hybrid sound and motion detection system with combined sensor data	Improved detection rate of 90%, reduced false positives	High dependency on sensor data, limited scalability
IDEA	Prototype for smartphone-based accident detection using audio analysis	Successfully detected accidents in 80% of cases	Challenges with smartphone microphone quality in noisy areas
AADMA	Sound-based detection system utilizing acoustic features and machine learning	High precision and recall rates in detecting accidents	Inability to differentiate between similar loud sounds (e.g., traffic noises)

DACN	Audio feature extraction and classification using machine learning techniques	88% accuracy in controlled settings	Limited dataset size, difficulty in detecting minor accidents
-------------	---	-------------------------------------	---

Table 4 shows main differences between articles. Methodological Differences: The studies varied in their approach, some focusing on machine learning, others on sensor fusion. This diversity in methodology demonstrates the evolving nature of sound-based detection and shows that there’s no one-size-fits-all solution. While several studies report promising results, such as high precision and recall rates, it’s clear that real-world challenges, such as environmental noise and limited data, impact detection accuracy.

The results of this systematic review suggest that mobile road safety alert applications offer promising potential for reducing emergency response times and improving user experience. Most of the reviewed studies show a consistent trend: mobile incident reporting and road safety applications have a positive impact on emergency response efficiency, as evidenced by response time reductions and user satisfaction scores. The integration of smartphone sensors such as GPS and accelerometers has been shown to be effective in automatic crash detection, especially when combined with user-centered design principles.

The review process also had certain limitations. This review relied on 4 academic databases (Google Scholar, Scopus, JSTORE, and IEEE Xplore). Expanding the search to other databases or including gray literature could have increased the study pool and potentially offered additional perspectives. Also, non-English publications were excluded, which may have limited the scope of evidence, particularly in non-English-speaking regions where mobile safety applications may be in use. In addition, Due to the wide variety of methods used in the included studies, conducting a meta-analysis was not feasible, which limits the ability to quantitatively synthesize findings across studies.

Future research should recruit larger, more diverse samples to allow for generalization. In particular, studies on underserved populations and in rural areas could shed light on the generalizability of these applications. Admittedly, studies that explore the usage of multiple platforms and the accuracy of various sensors within numerous smartphone models would definitely be useful as they affect the consistency and reliability of accident detection. Moreover, future work could involve comparative studies that test mobile-based solutions directly against in-car systems, it would highlight the benefits and limitations of each approach.

Finally, it is crucial for researchers to focus on the development of larger and more diverse datasets, which will help train algorithms to detect a broader range of accident-related sounds across various environmental conditions. As machine learning and deep learning techniques continue to evolve, they hold the potential to significantly enhance the performance of sound-based detection systems, making them more adaptable to different settings and conditions.

Conclusion

The following systematic review focuses on the possibility of using sound-based car accident detection systems and their applications which show great promise and can be a low-cost

solution to the sensor-based systems. The review shows that such systems could work with an accuracy of 81% when used with machine learning when detecting car accidents in controlled environments. There is still some problem with signal interference and noise as well as applicability of the results for the real-world situation. Nevertheless, the sound-based detection systems highlighted here have lots of potential for improving road safety, particularly in areas where development of other technologies is not feasible. Because there are relatively few studies and because most of the experiments are conducted in a relatively controlled setting there is a clear need for additional research that will refine these systems for their use in open, dynamic environment. As for the research recommendations the further works should be concentrated on increasing the reliability of sound-based detection algorithms, combining them with the data from other sensors, and extending the databases to embrace more various accident instances. In general, it can be concluded that the vision-based detection has many prospects to enhance the emergency response time and enhance the road safety investigations. As the technologies advance and more improvements are made to the systems, they can become one of the integral constituents of the near future of traffic security technologies for the people in the world.

The contribution of the authors:

Aitim A.K. – Checking the integrity of the article, concept, final decision, formatting, final checking.

Iyembergen D.S. – Participated in data collection, interpretation of results, and manuscript writing.

Kassymbayev O.E. – Contributed to the study design, data collection, analysis, and drafting of the manuscript.

Malikomar Ye.E. – Played a key role in research methodology, analysis, and manuscript review.

Kakharman A.A. – Contributed to the research conceptualization, review, and editing of the manuscript.

All authors reviewed and approved the final manuscript and are responsible for ensuring the accuracy and integrity of the work.

References

1. Espinoza, E.L., Carpio, E.J.E., & Andrade-Arenas, L. (2021). *Immediate Notification of Traffic Accidents through a Mobile Application* (No. 2021120490). Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202112.0490.v1>
2. Karolemeas, C., Chatziioannou, I., Maris, I., Vlastos, T., & Bakogiannis, E. (2024). Comparative insights into mobile road safety alert applications: Assessing user preferences and financial commitment among Greek and European highway users. *Transport Economics and Management*, 2, 15-30. <https://doi.org/10.1016/j.team.2023.12.002>
3. Strazdins, G., Mednis, A., Kanonirs, G., Zviedris, R., & Selavo, L. (2012). Towards vehicular sensor networks with Android smartphones for road surface monitoring.
4. M. Sammarco & M. Detyniecki, «Crashzam: Sound-based Car Crash Detection», in *Proceedings of the 4th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems*,

Funchal, Madeira, Portugal: SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2018, cc. 27–35. doi: 10.5220/0006629200270035.

5. Zaldivar, J., Calafate, C., Cano, J.-C., & Manzoni, P. (2011). Providing accident detection in vehicular networks through OBD-II devices and Android-based smartphones. Proceedings - Conference on Local Computer Networks, LCN, 813-819. <https://doi.org/10.1109/LCN.2011.6115556>

6. D.P.T. Martin, J. Perrin, B. Hansen, R. Kump, & D. Moore, «INCIDENT DETECTION ALGORITHM EVALUATION».

7. B. Fernandes, V. Gomes, J. Ferreira, & A. Oliveira, «Mobile Application for Automatic Accident Detection and Multimodal Alert», in 2015 IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Glasgow, United Kingdom: IEEE, май 2015, cc. 1–5. doi: 10.1109/VTCSpring.2015.7145935.

8. Alwan, Z., & Alshaibani, H. (2015). Car accident detection and notification system using smartphone. International Journal of Computer Science and Mobile Computing (IJCSMC), 4, 620-635.

А.Қ. Айтим, А.А. Қахарман*, Д.С. Иемберген, О.Е. Қасымбаев, Е.Е. Маликомар
Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан

Жол-көлік апаттарын анықтау және хабарландыру үшін мобильдік қосымша әзірлеу

Аңдатпа. Соңғы бірнеше онжылдықта жол-көлік оқиғалары бүкіл әлемде экспоненциалды қарқынмен орын алды, сондықтан төтенше жағдайларды жоюдың тиімді жүйелерін құру қажеттілігі туындады. Дегенмен, қазіргі кәдімгі жол-көлік оқиғаларын анықтау жүйелерінде кәдімгі автокөлік маркаларында орнату мүмкіндігі жоқ және тек қымбатқа түседі. Мобильді апаттар туралы ескерту қолданбалары апаттарға қарсы әрекет ету қызметтерін ескерту үшін смартфон қолданбасын пайдаланудың бір мысалын береді. Бұл жүйелі шолу жол қозғалысы қауіпсіздігі туралы ескертулерге арналған мобильді қосымшалар саласындағы соңғы әзірлемелерді қарастырады, олардың төтенше жағдайларды жою уақыты мен пайдаланушының ыңғайлылығын жақсарту тұрғысынан олардың әлеуетіне назар аударады. Бұл шолудың негізгі мақсаты-жазатайым оқиғалар туралы ескертуге арналған мобильді қосымшалардың тиімділігін және олардың ыңғайлылығын бағалау. 2015 жылдан бері жарияланған Google Scholar, Scopus, JSTORE, IEEE Xplore сияқты академиялық дерекқорлардағы зерттеулер қаралды. Инклюзивтілік критерийлеріне нақты уақыт режимінде хабарландыру мен ыңғайлылықты тексеруге баса назар аудара отырып, мобильді жол қозғалысы қауіпсіздігі қолданбаларын зерттейтін зерттеулер кірді. Нәтижелер мобильді ескерту қолданбалары, әсіресе автоматтандырылған хабарландырумен жабдықталған кезде, төтенше жағдайларды жою уақытын айтарлықтай жақсартатынын көрсетеді. Бұл жұмыс мобильді жол қозғалысы қауіпсіздігі шешімдерінің қолжетімділігі мен ауқымдылығына баса назар аудара отырып, сондай-ақ ыңғайлылық пен сенімділікті арттыру бағыттарын бөліп көрсете отырып, қоғамдық қауіпсіздік саласына үлес қосады.

Түйін сөздер: мобильді ескерту қолданбалары, жол қауіпсіздігі, апатты қозғалыс, апатты анықтау, мобильді қосымшалар, жол апаты.

А.К.Айтим, А.А.Кахарман*, Д.С.Иемберген, О.Е.Касымбаев, Е.Е.Маликомар
Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан

Разработка мобильного приложения для обнаружения и оповещения о дорожно-транспортных происшествиях

Аннотация. За последние несколько десятилетий количество дорожно-транспортных происшествий во всем мире увеличилось в геометрической прогрессии, что обуславливает необходимость в эффективных системах экстренного реагирования. Однако современные традиционные системы обнаружения дорожно-транспортных происшествий не подходят для установки в автомобили обычных марок и являются исключительно дорогостоящими. Мобильные приложения для оповещения о стихийных бедствиях являются одним из примеров использования приложения для смартфонов для оповещения служб реагирования на стихийные бедствия. В этом систематическом обзоре рассматриваются последние разработки в области мобильных приложений для оповещения о дорожно-транспортных происшествиях, уделяя особое внимание их потенциалу с точки зрения времени реагирования на чрезвычайные ситуации и повышения удобства пользователей. Основная цель этого обзора - оценить эффективность мобильных приложений для оповещения о дорожно-транспортных происшествиях и их удобство использования. Были проанализированы исследования из академических баз данных, включая Google Scholar, Scopus, JSTORE, IEEE Xplore, опубликованные с 2015 года. Критерии включения включали исследования, в которых рассматривались мобильные приложения для обеспечения безопасности дорожного движения, с акцентом на оповещение в режиме реального времени и тестирование удобства использования. Результаты показывают, что мобильные приложения для оповещения могут значительно сократить время реагирования на чрезвычайные ситуации, особенно если они оснащены системой автоматического оповещения. Эта работа вносит свой вклад в сферу общественной безопасности, подчеркивая доступность и масштабируемость мобильных решений для обеспечения безопасности дорожного движения, а также выявляя области, требующие повышения удобства использования и надежности.

Ключевые слова: мобильные приложения для оповещения, безопасность дорожного движения, дорожно-транспортные происшествия, обнаружение столкновений, мобильные приложения, автомобильная авария.

References

1. Espinoza, E.L., Carpio, E.J.E., & Andrade-Arenas, L. (2021). Immediate Notification of Traffic Accidents through a Mobile Application (No. 2021120490). Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202112.0490.v1>
2. Karolemeas, C., Chatziioannou, I., Maris, I., Vlastos, T., & Bakogiannis, E. (2024). Comparative insights into mobile road safety alert applications: Assessing user preferences and financial commitment among Greek and European highway users. *Transport Economics and Management*, 2, 15–30. <https://doi.org/10.1016/j.team.2023.12.002>
3. Strazdins, G., Mednis, A., Kanonirs, G., Zviedris, R., & Selavo, L. (2012). Towards vehicular sensor networks with Android smartphones for road surface monitoring.

4. M. Sammarco & M. Detyniecki, «Crashzam: Sound-based Car Crash Detection», in Proceedings of the 4th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems, Funchal, Madeira, Portugal: SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2018, cc. 27–35. doi: 10.5220/0006629200270035.

5. Zaldivar, J., Calafate, C., Cano, J.-C., & Manzoni, P. (2011). Providing accident detection in vehicular networks through OBD-II devices and Android-based smartphones. Proceedings - Conference on Local Computer Networks, LCN, 813-819. <https://doi.org/10.1109/LCN.2011.6115556>

6. D. P. T. Martin, J. Perrin, B. Hansen, R. Kump, & D. Moore, «INCIDENT DETECTION ALGORITHM EVALUATION».

7. B. Fernandes, V. Gomes, J. Ferreira, & A. Oliveira, «Mobile Application for Automatic Accident Detection and Multimodal Alert», in 2015 IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Glasgow, United Kingdom: IEEE, май 2015, cc. 1–5. doi: 10.1109/VTCspring.2015.7145935.

8. Alwan, Z., & Alshaibani, H. (2015). Car accident detection and notification system using smartphone. International Journal of Computer Science and Mobile Computing (IJCSMC), 4, 620-635.

Information about the authors:

Aitim A.K. – master of Technical Sciences, Assistant-professor, Department of Information Systems, International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan.

Kakharman A.A. – corresponding author, bachelor of “Information and Communication Technology”, Department of Information Systems, International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan.

Iyembergen D.S. – bachelor of “Information and Communication Technology”, Department of Information Systems, International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan.

Kassymbayev O.E. – bachelor of “Information and Communication Technology”, Department of Information Systems, International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan.

Malikomar Y.Y. – bachelor of “Information and Communication Technology”, Department of Information Systems, International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan.

Айтим А.К. – техника ғылымдарының магистрі, Ақпараттық жүйелер кафедрасының ассистент-профессоры, Халықаралық Ақпараттық Технологиялар Университеті, Алматы, Қазақстан.

Кахарман А.А. – автор для корреспонденции, бакалавр «Информационно-коммуникационных технологий», кафедра информационных систем, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан.

Иемберген Д.С. – бакалавр «Информационно-коммуникационных технологий», кафедра информационных систем, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан.

Касымбаев О.Е. – бакалавр «Информационно-коммуникационных технологий», кафедра информационных систем, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан.

Маликомар Е.Е. – бакалавр «Информационно-коммуникационных технологий», кафедра информационных систем, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан.

Айтим А.К. – техника ғылымдарының магистрі, Ақпараттық жүйелер кафедрасының ассистент-профессоры, Халықаралық Ақпараттық Технологиялар Университеті, Алматы, Қазақстан.

Қахарман А.А. – хат-хабар авторы, Ақпараттық-коммуникациялық технологиялар бакалавры, Ақпараттық жүйелер кафедрасы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан.

Иемберген Д.С. – Ақпараттық-коммуникациялық технологиялар бакалавры, Ақпараттық жүйелер кафедрасы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан.

Қасымбаев О.Е. – Ақпараттық-коммуникациялық технологиялар бакалавры, Ақпараттық жүйелер кафедрасы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан.

Маликомар Е.Е. – Ақпараттық-коммуникациялық технологиялар бакалавры, Ақпараттық жүйелер кафедрасы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, 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 67.07.01

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-150-1-46-61>

Article

Analysis of methods of architectural and spatial adaptation of industrial enterprises to the environmental requirements of the modern urban environment

G. Maulenova^{1*}, M. Mustafa¹, U. Tariq²

¹Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan

²University of the West of England, UK

(E-mail: *g.maulenova@satbayev.university)

Abstract. This article discusses the issues of improving the quality parameters of industrial areas with the liquidation or preservation of their functional purpose. The research methodology includes an analysis of methods for the reconstruction of industrial buildings in domestic context, on the example of Almaty, and foreign practice, with the example of Germany and Poland. The current ideology underlying today the architecture of such structures and ways of effective and harmonious integration of utilitarian industrial objects into the urban environment are considered. The analysis is carried out according to the urban planning, functional and compositional characteristics of industrial facilities using a multifactorial comparison method. Different approaches to architectural and spatial adaptation, such as preservation, renovation, and reconstruction are analysed. The article notes that the choice of adaptation method depends on a number of factors, including the condition of the object, historical and architectural value, and the intended purpose of the object after renovation. The promising development of industrial architecture lies in its possible and rapid adaptation to developing technologies. The article is of interest to architects, urban planners, as well as for all those who are interested in the issues of renovation of industrial facilities. For the renovation of industrial facilities, it is necessary to clearly establish the stages of adaptation of industrial facilities.

Keywords: renovation of industrial areas, industrial facilities, analysis of global adaptation, industrial architecture, revitalization.

Received 13.12.2024. Revised 17.02.2025. Accepted 19.02.2025. Available online 31.03.2025

¹the corresponding author

Introduction

The creation of favorable conditions and compliance with functional purposes are primary requirements for the design of any architectural structure (McGuire and Schiffer, 1983). The task of the architect is to carefully study the life process and its patterns when designing a building. Given the trends in the development of building design, when calculating the service life, it is also necessary to take into account the actual state of the process itself. In this regard, it is necessary to conduct the following preliminary studies: a thorough study the world and domestic experience of constructing and operating similar structures. The analytical method of working with literary sources, implemented projects in the public domain, and photo-fixations of similar objects. Further, the most important material for this study was the in-kind studies of structures in the process of operation, which make it possible to evaluate the implementation of functional processes and understand the quality of conditions for workers of these enterprises at various parts of the production cycle. This is relevant not only for newly designed objects, but also for existing structures that require various levels of renovation and reconstruction, that is, giving such objects a "second life" (Bani et al., 2009). During this work, it is also important to study in detail the building's layout, design features and equipment used.

Nowadays, many people continue to migrate to urban areas, thereby strengthening the processes of urbanization, which have both positive and negative consequences. It is important to constantly monitor the processes of interaction of various aspects of urbanization processes in the process of their development. In order to direct the process of urbanization in the most positive direction, that is, not to lose sight of the preservation of its familiar and established image, to understand how the potential of the city can be developed, it is important to establish the right scenarios for the development of this process. And here one of the most significant elements can be called the analysis of the historical and cultural content of the urban environment. Understanding of historical events in the context of their integration into modern urban space requires architects and researchers to use appropriate methods that take into account 'dimensional, planning, substantive elements of the city and the interaction between them' (Khalykov, K. et al., 2015).

As for the adaptation of industrial enterprises in the urban environment, it is important to take into account the natural and urban conditions, i.e., the natural features of the area, the size and shape of the industrial zone, and its connection with the adjacent territory and buildings, and, of course, the significance of the building in the architectural ensemble (Drebezgova et al., 2022). Adaptation of buildings in architecture is the ability of buildings to change their characteristics in accordance with changes in operating conditions, presenting fundamentally new requirements for architecture (Keenan, 2014). In the context of Kazakhstan, it is relevant in the territories of factories and plants that were built in the last century, which stopped for economic reasons, to design shopping and entertainment centers, malls that have already become boring to everyone (Auganbai et al., 2019). The main argument is that why Kazakhstan is not using the example of world experience, repurpose abandoned industrial buildings, try to "breathe life" into dying enterprises?

First of all, it is necessary to pay attention to how harmonious the existence of industrial architecture in the surrounding buildings, its "dialogue" with society and the environment

(Kellert et al., 2011). Taking into account the vast areas occupied by industrial production facilities that have fallen into decay or require modernization require a qualitative assessment of the situation and ways of an economically beneficial and socially significant solution (Zolina and Tsitman, 2019). It is important to understand that industrial architecture must evolve along with society and its growing needs (Fiksel, 2003). Industrial modernization is a key action for a sustainable development strategy (Sánchez-Montañés Benito & Castilla, Manuel V., 2020).

For the competent transformation of industrial structures, one should not forget that among the buildings that were left without proper care they collapsed: the structures rusted, the finishes collapsed, engineering communications stopped working, there may be valuable examples of architecture of past centuries (Högberg, 2011). In such buildings, in addition to the possibility of revitalization, it is also necessary to carry out reconstruction. Revitalization (from Latin re... - renewal and vita - life, literally: the return of life) in the context of urban studies refers to the process of recreating and revitalizing urban space (Wikipedia, The free Encyclopedia., 2023).

Today, the problem of lack of territories in large cities is a significant problem. And in this aspect, areas of abandoned industrial zones can become the most important reserve for the growth and development of not only adjacent territories, but also the entire urban system (Jadach-Sepiolo et al., 2016). Many cities were formed by large industrial enterprises that were conveniently located in the urban structure with a complex and efficient transport infrastructure. However, the era of post-industrialization also affected the most important city-forming segments of the economy. Many industrial enterprises closed due to economic problems; some were moved outside the expanded city. The territories of such structures in many cases fell into disrepair, and therefore became unprofitable and depressed. In addition to the purely economic aspects of such desolation, such territories create enclaves of crime in the city, which negatively affects the overall quality of urban space.

Despite the neglect of such objects, they have great potential for development. These are both developed transport systems and reliable structures that are used in the construction of industrial buildings. Where the structural framework has not lost its load-bearing capacity, it is possible to use the object for a variety of functions from office space to extreme sports.

Reorganization of such territories allows not only to create new jobs and improve the level of education by creating jobs of higher qualifications. Creating a favorable environment for living and working allows raising the level of innovative and technological development of the city, creating conditions for growth in the long term.

In addition, urbanized territories of abandoned industries compact the urban environment, preventing it from growing uncontrollably beyond existing boundaries, and capturing areas of the natural environment. Therefore, this study closely examines these global trends using the example of cities in Kazakhstan.

The relevance of research

The relevance of this study is determined, firstly, by global trends towards the introduction of sustainable development principles into the development of urban areas, including unused industrial zones (Del Giudice et al., 2020). Coastal areas are of particular interest in this context,

as they are a kind of buffer zone between natural and urbanized spaces. The main principle of revitalization can be formulated as follows: to maximally reveal new opportunities for unused spaces by creating new functions. It is important to use a comprehensive approach in the revitalization process, which will make it possible, if necessary, to preserve the original identity of the structure, but at the same time set the vector of its new development through modern filling (Tsydyanova M.A. & Alekseev A.A., 2022).

Any revitalization project must first of all correspond to the general plan of the city and the entire region, and also be part of the overall concept of territorial development (Rodina et al., 2018). An important factor in successful revitalization is the ability of the object to act as a new center of public spaces in the urban structure. The ability to develop innovative areas in the economic activity of the city, to act as a catalyst for educational and cultural and leisure life of the urban environment is an important indicator of the high-quality adaptation of ineffective parts of the city. In order to achieve this, it is necessary to maximally and comprehensively involve local communities and residents in the design at all its stages. Therefore, revitalization can be considered one of the most important tools for sustainable development, since this process makes it possible to create a high-quality and favorable environment for residents of modern cities, and at the same time provide them with the opportunity for personal and professional growth in the context of active social activity (Gouda et al., 2018). “Demand creates supply”, which is why the relevance of this topic is quite high. Firstly: on the territory of Kazakhstan, there is a considerable number of abandoned or dilapidated industrial enterprises, there are also completely unused or underutilized industrial zones. Secondly: in the conditions of the economic crisis, Kazakhstan is working on the issue of import substitution and the establishment of its own production. The state intends to establish production in the fields of mechanical engineering, the chemical industry, the production of building materials and many others (Biyatov E., 2022).

Based on the above aspects, it is necessary to start acting towards the development of adaptation of industrial enterprises in the urban environment (Karipova et al., 2020). At the same time, when reconstructing and modernizing industrial zones, it is necessary to consider environmental standards. To revitalize such objects, various conceptual projects that are valuable and relevant for citizens can be used. It is possible to formulate the most important criteria for the high-quality work of the design team in working on the most effective solution:

1) Maximum high quality of comfort for people in the process of performing their work and household functions, such as the dimensions and proportions of the premises, their convenient interconnection, ergonomically located equipment and furniture, clear and easy to read orientation both in the internal and external space. In addition, compliance with all sanitary standards (insolation, ventilation, heating and air conditioning).

2) Structural integrity and cost-effectiveness of the system, which is able to ensure stability, durability and variability depending on changing functions and real needs in a specific period of operation. It is important to use the most modern innovative materials and technologies at all stages of creation from the creation of the project to its construction and operation.

3) High aesthetic requirements for the creation of a unique architectural image that meets the functional purpose and artistic criteria of society.

The methodology

The methodology of the presented study is based on an analytical method that identifies the most successful examples of industrial facility reconstruction in global and domestic practices, compares their techniques, analyzes methods and results. Archival and bibliographic sources were also used. Based on all this data, the most significant and relative ways of adapting industrial facilities to the needs of a modern city were formulated. The author's natural studies made it possible to identify the techniques and factors that make it possible to preserve the original function of the structure or create a new functionality. It was concluded that the choice of the method of adapting an object is determined by various factors: physical condition, historical and architectural value, and also the need for a particular new function in the reconstructed territory.

Experience of foreign countries

Abandoned industrial buildings in Europe are increasingly being turned into art spaces. Some of them are more than commercially successful (Mironova Y., 2017) A common problem of countries that experienced the era of change in the 1990s is the social, economic, urban and architectural consequences of the decline of large industrial enterprises. These phenomena are not new. For example, in the Ruhr region in Germany, projects to restructure industrial facilities were already underway in the sixties, and the first plans to free the region from heavy industry appeared at the same time. At the turn of the century, the Ruhr area, once home to many mines and factories, was already a cultural center with museums, science parks and perfectly suited to the new needs of the architecture of the industrial age, which in 2001 was included in the list of UNESCO World Heritage Sites (Cymer A., 2019).

The trend to adapt industrial facilities to new needs continues to this day. Over the past decade, dozens of such buildings have changed their functions throughout Poland, and similar projects are being implemented in large cities and smaller towns. In Gdansk, Krakow, Wroclaw, Warsaw, residential and office areas appear on former industrial territories. In the town of Pabianice there is a hotel built on the site of a former cotton manufactory. In Kalisz, the piano factory Calisia, which operated until 2007, has now closed, and its building now houses shops and offices. The premises of the EC1 power plant in Łódź host a science center with an interactive exposition, and the main building of a private university is located in the building of an old electrical equipment factory in Warsaw (Cymer A., 2019).

In 2008, Poland was represented at the Venice Architecture Biennale by the exhibition Houses. Life after life." Its curators, Grzegorz Piatek and Jaroslav Trybus, tried to answer the question of whether there is an architectural life after death. Nicolas Gropierre photographs iconic modern Polish objects, and they write scenarios of what could happen to these objects if their original function lost its relevance. All these photographs of Gropierre and scenarios of curators - was brought together by Kobas Lax using the collage technique. Thus, the library building of Warsaw University has turned into a shopping center. The glass office center Rondo-1 has turned into a columbarium and detention center. The Warsaw airport terminal has turned into a farm. The Basilica of the Blessed Virgin Mary of Lichen has turned into a water park. The elite residential

complex Marina Mokotów has turned into a waste dump. The exhibition received the "Golden Lion" of the Biennale for showing in an easy and accessible form a phenomenon that concerns all buildings in the world: they are erected for centuries, but it happens that they lose their meaning of existence (Cymer A., 2019)/

Analysis of domestic experience (Kazakhstan)

During Soviet times, the city of Alma-Ata was the largest industrial center in Kazakhstan. There were a lot of industrial facilities, plants, factories, organizations that carried out various orders. Some facilities are discussed in Table 1.

Table 1. Analysis of existing adapted industrial facilities in Almaty, Kazakhstan

Industrial enterprise	Enterprise function	Current state	Building area
Almaty Electrotechnical Plant (AETP)	Manufacture of lamps, irons and other peaceful products	SEC "Mart", parking, warehouses	27000 m ²
Almaty Cotton Mill (ACM)	Manufacture of fabric, yarn, bed linen, overalls	Shopping centers "Armada" and "Grand Park"	215910 m ²
Alma-Ata carpet factory	Manufacture of machine-made jacquard carpets, hand-woven pile carpets, rugs	Trading house with furniture and interior items, cafes, beauty salons, warehouses	10500 m ²
Almaty House-Building Plant (AHBP)	Manufacture of reinforced concrete products	Shopping and entertainment complex ADK	45000 m ²

The Almaty Electrotechnical Plant (AETP), as shown in figure 1, was established in 1941 on the basis of the Transsvyaz plant evacuated to Alma-Ata from Kharkov. Along with the equipment, trains arrived and their specialists in the amount of 385 people. During the war years, the plant produced products for the front: batteries, communication and telephone sets, military bowlers. At the time of the Union, AETP was a dual-use enterprise. According to public information, he produced lamps, irons and other peaceful products, but, in addition to irons, boards and microelectronics for Soviet missiles, parts for the military industry were produced in his secret workshops. In secret reports, the plant was listed under the name "Mailbox No. 7", and no more information. The plant successfully developed and operated until the 90s. When there was no big country of the USSR, a huge enterprise ordered a long life. Its main administrative building stood abandoned for many years, the workshops were in deep conservation, and a paid overnight parking lot appeared in the courtyard.

After 2011, with the country's recovery from the crisis, AETP began a second life: its administrative building was sold and rebuilt into the Mart shopping center, the area with the dismantled overhead crane was converted into a parking lot, and all workshops and utility rooms were handed over to private investors for warehouses. The former AETP, the current SEC "Mart", as shown in figure 2, is located at the address: Richard Sorge, 18 (Hyun O., 2020).



Figure 1. The Almaty Electrotechnical Plant (before adaptation)



Figure 2. SEC "Mart" (after adaptation)

In the 1990s, the light industry giant Almaty Cotton Mill (ACM), as shown in figure 3, like many enterprises, came to a standstill and 10,000 people were left without work. Since 2003, part of the production area has been turned into the Armada shopping center, while the other part of the buildings has been spontaneously dismantled. Cotton came here from all the southern republics of the USSR and was processed into fabrics, and then the products were distributed throughout the Union and even to far-abroad countries. In 2016, the Grand Park shopping center, as shown in figure 4, was opened on the site of the second former workshop of ACM. Now these are endless shopping galleries with countless boutiques: for 4 years, many have remained half empty without finding their tenants (Minogarov K., 2020).



Figure 3. Almaty Cotton Mill (before adaptation)



Figure 4. Shopping centers "Armada" and "Grand Park" (after adaptation)

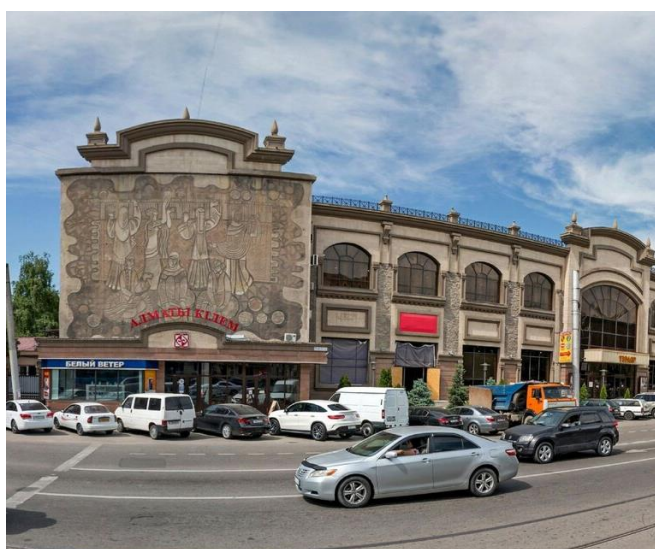
The Alma-Ata carpet factory (figure 5) was established in 1936 as a cooperative trade artel "Kovrovshchitsa". In 1960, the artel turned into the Alma-Ata carpet and weaving factory, in 1964 it was named after V. Tereshkova. The carpet factory was established in 1936 on the basis of the artel "Kovrovshchitsa". The enterprise was engaged in the production of carpets and carpets of various types from natural sheep, camel and goat wool. In 1962, the enterprise

was modernized, the old manual looms were replaced with new, mechanical ones. In Soviet times, the factory had 7 main production workshops. The main products of the enterprise were machine-made jacquard carpets, hand-woven pile carpets, carpet runners. On special orders, the factory produced carpets with portraits of Abai, Zhambyl, Auezov, Seifullin, Mukanov and other famous personalities.

In 1992, the Alma-Ata carpet factory was privatized, equipped with new German equipment and transformed into a private joint-stock company Almaty Kilem JSC. Today, the carpet factory does not exist: all equipment, machines, workshops have been sold. Since 2007, the former production areas have been used as a trading house with furniture and interior items, cafes, beauty salons, and warehouses, as shown in figure 6. There are also carpets here, but they are no longer made in Kazakhstan. The former carpet factory named after V. Tereshkova is located at Tole Bi, 187. Only a panel depicting weavers in national dress remains from the former enterprise (Miroshnichenko F., 2020).



**Figure 5. Alma-Ata carpet factory
(before adaptation)**



**Figure 6. Trading house
(present condition)**

The largest construction organization in the republic, the Almaty House-Building Plant (AHBP), as shown in figure 7, was established in 1956. The enterprise had 10 self-supporting construction repair departments, a plant for the production of reinforced concrete products, a plant for the processing of non-metallic materials, a large car depot and other divisions. Reinforced concrete products were made here, from which entire micro districts were later built. Half of Alma-Ata and residential buildings in other cities of Kazakhstan and the USSR were built from concrete panels of AHBP. They also went to friendly Cuba. When the Soviet Union ceased to exist, orders for AHBP became less and less: in a crisis, the construction industry suffers first. In the 90s and 2000s, the plant's workshops were dismantled one by one. In 2011, a shopping and entertainment complex was opened on the site of the flagship of housing construction in Kazakhstan, and an auto-dismantling of Japanese cars appeared on the site of

the former car depot of the plant. In 2015, construction of a residential complex began on the remaining production areas. In 2018, the last workshops were dismantled. The object is no more. He inherited only three letters – ADK (Figure 8) (Miroshnichenko F., 2020).



**Figure 7. Almaty House-Building Plant
(before adaptation)**



**Figure 8. Shopping and entertainment
complex ADK (after adaptation)**

Findings/Discussion

The main problem facing modern urbanism is to find a new understanding of the role and place of industrial areas in the urban structure that would meet all modern challenges, be both aesthetically filled and economically feasible, that is, have socially approved qualities. The saturation of spatial units of modern cities with various functions, from territories to individual structures, makes it possible to use production facilities as part of large urban complexes. This makes it possible to formulate the basic principles of designing industrial facilities that would be universal in nature and could be used both in new construction and in the renovation of old buildings.

To carry out a full-fledged and high-quality renovation, an important factor can be called the establishment of clear stages of work. At the first stage, it is necessary to conduct a comprehensive analysis of the entire territory of the facility, its place in the citywide structure with the marking of adjacent buildings. It is important to record all transport and pedestrian links. The second stage requires a comprehensive analysis of world experience in creating similar projects. At this stage, it is important to choose a strategy for the development of the territory in general, and the functional development of a particular building. The final stage can be called the development of a strategy for further development and activation of processes within this fragment of the urban environment. At this stage, it is advisable to rebrand the designed territory. Here it is important to involve the public and residents of the territories as much as possible. For this purpose, it is necessary to prepare various sites and coworking spaces for public events and other activities, it is possible to use elements of graphic design and visualization. Thus, a new industrial cluster is gradually created, which clearly demonstrates the implementation of the principles of the value approach and social activity at all levels of the architectural environment

of the city. All these actions lead to comprehension and understanding of the fact that industrial territories from the exclusion zone can turn into open and comfortable urban spaces.

The professional community of architects, urban planners and urbanists is actively discussing the development prospects of industrial areas that have lost their economic feasibility and, in many cases, relevance. In this regard, three types of adaptation of industrial facilities are common according to the degree of preservation of primary functions:

- i) full preservation of basic functions;
- ii) partial preservation of basic functions;
- iii) replacing the basic function with a new one.

The world experience of reorganization of industrial facilities demonstrates a large number of methods, the most relevant can be called the following trends, in which production functions are preserved to one degree or another.

a) creation of a conglomerate of science and production (using the example of a technology park);

b) symbiosis of housing, production and scientific functions (using the example of a technopolis);

c) combination of reconstructed production facilities with scientific centers and other companies. Integration of the entire complex into the urban fabric (using innovative urban clusters, technology parks, and business parks as examples);

d) the unification of modern mass industrial production and objects of artistic applied art or handicraft production.

Industrial structures for adaptation by replacing the main function can be classified according to the type of function created:

(i) residential properties (student residences, housing for the elderly, workers' housing complexes, and elite housing);

(ii) public buildings.

With all the variety of types of modernization of industrial facilities, the need to preserve the basic function of the facility has been actively discussed in the professional community lately. In this regard, the process of deindustrialization in some European countries is beginning to change towards reindustrialization, but taking into account modern requirements and trends for the creation of large scientific and industrial complexes with the inclusion of socially significant buildings. Thus, the current criterion for the social adaptation of industrial heritage sites can be considered their level of integration into the modern urban fabric, the degree of "openness" (Votinov, M.A., 2014). Regardless of the function and industry of the industrial facility, the most important thing for the entire urban landscape is the ability to attract as many people as possible to the designed areas. The most high-quality results are demonstrated by complex projects in which all components of the urban space are taken into account. Thus, as a result of professional work and the involvement of an active public community, an old abandoned plant is transformed into a new open space filled with new meanings).

Conclusion

Contemporary architecture and urbanism are entering a new period, which is characterized by the process of transition from deindustrialization to reindustrialization. Thus, industrial buildings, which at a certain period became the source of urban problems, are returning their value to the city as new types of urban spaces. With this approach, preference is given to some basic functions, there is an opportunity to modernize the inclusion of processes due to research functions, office and social facilities. The conducted analysis of domestic experience in the development of industrial facilities in the territory of Almaty allows us to provide methods applicable to our conditions. Today, many production areas are used as shopping centers. Compared to foreign adaptation experience, all significant facilities in Almaty have lost their industrial function. According to the analysis of the world experience of adaptation, several directions, methods and ways of adapting industrial facilities to the needs of modern cities with a long history have been identified. The promising development of industrial architecture lies in its possible and rapid adaptation to developing technologies. This can be achieved through the re-functionalization of industrial facilities, saturating them with new functions. For most cities in our state, revitalization projects are a relevant method of restoring the urban environment. Non-functioning industrial enterprises, which were once city-forming, can bring new functional, economic, educational and innovative opportunities for the region and its inhabitants.

Conflict of interest. There is no conflict of interest between the authors.

The contribution of the authors.

Maulenova G.D.: contribution to the concept; execution of the claimed scientific research; creation of a scientific article.

Mustafa M.A.: contribution to the concept.

Tariq U.: interpretation of the claimed scientific research.

References

1. McGuire, R.H. and Schiffer, M.B., 1983. A theory of architectural design. *Journal of anthropological archaeology*, 2(3), pp.277-303.
2. Bani, M., Genovesi, F., Ciregia, E., Piscioneri, F., Rapisarda, B., Salvatori, E. and Simi, M., 2009. Learning by creating historical buildings. *Learning and teaching in the virtual world of Second Life*, pp.125-144.
3. Khalykov, K., Maulenova, G., Sadigulov, R., 2015 Trends in the formation of the semantic image of the capital city (By the example of Almaty) // *Annales-Anali za Istrske in Mediteranske Studije - Series Historia et Sociologia*, 25 (3), pp. 441-450
4. Drebezgova, M. Yu, M. V. Perkova, E. I. Ladik, V. V. Percev, and Yu V. Chernyshev. "Adaptation of industrial territories." In *Architectural, Construction, Environmental and Digital Technologies for Future Cities: Experience and Challenges from Russian Cities*, pp. 175-184. Cham: Springer International Publishing, 2022
5. Keenan, J.M., 2014. Material and social construction: a framework for the adaptation of buildings. *Enquiry The ARCC Journal for Architectural Research*, 11(1), pp.15-15.

6. Auganbai, A., Kalymbek, B., Shulanbekova, G.K., Urisbaeva, A.A. and Yerezhpekzy, R., 2019. Protection of objects of historical and cultural heritage: Legal problems and the application of information technologies. *Envtl. Pol'y & L.*, 49, p.379.
7. Kellert, S.R., Heerwagen, J. and Mador, M., 2011. *Biophilic design: the theory, science and practice of bringing buildings to life.* John Wiley & Sons.
8. Zolina, T. and Tsitman, T., 2019. Renovation of industrial areas, taking into account the determination of residual deformations of existing production facilities. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 135, p. 03052). EDP Sciences.
9. Fiksel, J., 2003. Designing resilient, sustainable systems. *Environmental science & technology*, 37(23), pp.5330-5339.
10. Sánchez-Montañés Benito, Castilla Manuel V. (2020) Resilience factories. An opportunity for industrial heritage: La trinidad case study // *Architecture, City and Environment*, Vol. no. 15, Issue 43, Pages 1 – 18, Article Number 9192.
11. Högberg, A., 2011. The process of transformation of industrial heritage: Strengths and weaknesses. *Museum international*, 63(1-2), pp.34-42.
12. Jadach-Sepiolo, Aleksandra, Dominika Muszyńska-Jeleszyńska, and Katarzyna Spadło. "Analysis of the current situation of post-industrial sites in urban areas of three functional zones: Capital City of Warsaw, the City of Plock and the City of Radom together with the city of Pionki." *Vienna: Interreg CENTRAL EUROPE* (2016).
13. Giudice, V., De Paola, P., Bevilacqua, P., Pino, A. and Del Giudice, F.P., 2020. Abandoned industrial areas with critical environmental pollution: Evaluation model and stigma effect. *Sustainability*, 12(13), p.5267.
14. Tsydyanova M.A., Alekseev A.A., 2022 Modern approaches to the revitalization of coastal industrial areas // *Internauka: electron. scientific magazine* 2022. №20(243). <https://internauka.org/journal/science/internauka/243>.
15. Rodina, E., Filatov, V., Larionova, A.A., Makarova, L.M., Berezniakovskii, V.S. and Takhumova, O.V., 2018. Revitalization of depressed industrial areas based on ecological industrial parks. *Eurasian Journal of Analytical Chemistry*, 13(1), p.88.
16. Gouda, S., Kerry, R.G., Das, G., Paramithiotis, S., Shin, H.S. and Patra, J.K., 2018. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiological research*, 206, pp.131-140.
17. Biyatov E., 2022. Kazakhstan is establishing domestic production: what will be produced here. <https://ru.sputnik.kz/20220426/kazakhstan-nalazhivaet-otechestvennoe-proizvodstvo-cto-zdes-budut-proizvodit-24458129.html> (last access: 2022-12-22).
18. Karipova, A., Kabdullina, G., Kenesheva, G., Tursumbaeva, M., Kapysheva, S. and Nurgalieva, Z., 2020. Monitoring of industrial enterprises' performance in emerging economy: A case study. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 8(2), p.1177.
19. Mironova Y. 2017. The new life of European "derelicts". <https://34travel.me/post/novaya-zhizn-evropejskikh-zabroshek>.
20. Cymer A., 2019. City: Restart. <https://culture.pl/ru/article/gorod-perezapusk> (last access: 2023-01-05).
21. Cymer A., 2019. The second life of architecture: successful and failed redevelopments. <https://culture.pl/ru/article/vtoraya-zhizn-arkhitektury-udachnye-i-provalnye-pereplanirovki> (last access: 2022-12-27).

22. Hyun O., 2020. An era has gone with them: how the factories and factories of Almaty died. <https://nomad.su/?a=15-202011260029> (last access: 2023-01-05).

23. Minogarov K., 2020. Abandoned Soviet giant factories in Almaty. <https://yvision.kz/post/893969> (last access: 2023-01-05).

24. Miroshnichenko F., 2020. The lost factories and plants of Almaty. <https://voxpopuli.kz/pogibshie-fabriki-i-zavody-almaty-chast-2-14418/> (last access: 2022-12-27).

25. Votinov, M.A., 2014 The main directions of humanization of industrial facilities in the urban environment / M.A. Votinov // Bulletin. - № 2. - p. 114-119.

Г.Д. Мауленова*¹, М.А. Мустафа¹, У. Тарик²

¹Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы, Қазақстан

²Батыс Англия университеті, Ұлыбритания

Қазіргі қала ортасының экологиялық талаптарына өнеркәсіп кәсіпорындарының сәулеттік-кеңістік бейімдеру әдістерін талдау

Аңдатпа. Бұл мақалада өнеркәсіптік аумақтарды жою немесе олардың функционалдық мақсатын сақтай отырып, олардың сапа көрсеткіштерін жақсарту мәселелері қарастырылады. Зерттеу әдістемесі Алматы мысалында отандық өндірістік ғимараттарды қайта құру әдістерін және Германия мен Польша мысалында шетелдік тәжірибені талдауды қамтиды. Бүгінгі таңда мұндай құрылымдардың архитектурасының негізінде жатқан өзекті идеология және утилитарлы өндірістік объектілерді қалалық ортаға тиімді және үйлесімді біріктіру жолдары қарастырылады. Талдау көп факторлы салыстыру әдісін қолдана отырып, өнеркәсіптік нысандардың қала құрылысы, функционалдық және композициялық сипаттамалары бойынша жүргізіледі, сонымен қатар консервация, жаңарту, реконструкциялау сияқты сәулеттік-кеңістіктік бейімделудің әртүрлі тәсілдері талданады. Мақалада бейімдеу әдісін таңдау бірқатар факторларға, соның ішінде нысанның жай-күйіне, тарихи-сәулеттік құндылығына және жөндеуден кейінгі нысанның мақсатты мақсатына байланысты екендігі атап өтілген. Өнеркәсіптік архитектураның перспективалы дамуы оның дамып келе жатқан технологияларға мүмкін және жылдам бейімделуінде жатыр. Мақала сәулетшілерді, қала құрылысын салушыларды, сондай-ақ өнеркәсіптік нысандарды жаңарту мәселелеріне қызығушылық танытқандардың барлығын қызықтырады. Өндірістік нысандарды жаңарту үшін өндірістік объектілерді бейімдеу кезеңдерін нақты белгілеу қажет.

Түйін сөздер: өнеркәсіптік аймақтарды, өндірістік нысандарды жаңарту, жаһандық бейімделуді талдау, өнеркәсіптік архитектура, жандандыру.

Г.Д. Мауленова*¹, М.А. Мустафа¹, У.Тарик²

¹*Казахских национальный исследовательский технический университет имени К.И.Самбаева, Алматы, Казахстан*

²*Университет Западной Англии, Великобритания*

Анализ методов архитектурно-пространственной адаптации промышленных предприятий к экологическим требованиям современной городской среды

Аннотация. В данной статье рассматриваются вопросы повышения качественных параметров промышленных территорий при ликвидации или сохранении их функционального назначения. Методология исследования включает анализ методов реконструкции промышленных зданий в отечественной, на примере г. Алматы, и зарубежной практике, на примере Германии и Польши. Рассматриваются актуальная идеология, лежащая сегодня в основе архитектуры таких сооружений, и способы эффективной и гармоничной интеграции утилитарных промышленных объектов в городскую среду. Анализ проводится по градостроительным, функциональным и композиционным характеристикам промышленных объектов с использованием метода многофакторного сравнения, также анализируются различные подходы к архитектурно-пространственной адаптации, такие как сохранение, реновация, реконструкция. В статье отмечается, что выбор метода адаптации зависит от ряда факторов, среди которых состояние объекта, историческая и архитектурная ценность, а также целевое назначение объекта после реновации. Перспективность развития промышленной архитектуры заключается в ее возможной и быстрой адаптации к развивающимся технологиям. Статья представляет интерес для архитекторов, градостроителей, а также для всех, кто интересуется вопросами реновации промышленных объектов. Для реновации промышленных объектов необходимо четко установить этапы адаптации промышленных объектов.

Ключевые слова: реновация промышленных территорий, промышленные объекты, анализ глобальной адаптации, промышленная архитектура, ревитализация.

References

1. McGuire, R.H. and Schiffer, M.B., 1983. A theory of architectural design. *Journal of anthropological archaeology*, 2(3), pp.277-303.
2. Bani, M., Genovesi, F., Ciregia, E., Piscioneri, F., Rapisarda, B., Salvatori, E. and Simi, M., 2009. Learning by creating historical buildings. *Learning and teaching in the virtual world of Second Life*, pp.125-144.
3. Khalykov, K., Maulenova, G., Sadigulov, R., 2015 Trends in the formation of the semantic image of the capital city (By the example of Almaty) // *Annales-Anali za Istrske in Mediteranske Studije - Series Historia et Sociologia*, 25 (3), pp. 441-450
4. Drebezgova, M. Yu, M. V. Perkova, E. I. Ladik, V. V. Percev, and Yu V. Chernyshev. "Adaptation of industrial territories." In *Architectural, Construction, Environmental and Digital Technologies for Future Cities: Experience and Challenges from Russian Cities*, pp. 175-184. Cham: Springer International Publishing, 2022
5. Keenan, J.M., 2014. Material and social construction: a framework for the adaptation of buildings. *Enquiry The ARCC Journal for Architectural Research*, 11(1), pp.15-15.

6. Auganbai, A., Kalymbek, B., Shulanbekova, G.K., Urisbaeva, A.A. and Yerezhpekyzy, R., 2019. Protection of objects of historical and cultural heritage: Legal problems and the application of information technologies. *Envtl. Pol'y & L.*, 49, p.379.
7. Kellert, S.R., Heerwagen, J. and Mador, M., 2011. *Biophilic design: the theory, science and practice of bringing buildings to life.* John Wiley & Sons.
8. Zolina, T. and Tsitman, T., 2019. Renovation of industrial areas, taking into account the determination of residual deformations of existing production facilities. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 135, p. 03052). EDP Sciences.
9. Fiksel, J., 2003. Designing resilient, sustainable systems. *Environmental science & technology*, 37(23), pp.5330-5339.
10. Sánchez-Montañés Benito, Castilla Manuel V. (2020) Resilience factories. An opportunity for industrial heritage: La trinidad case study // *Architecture, City and Environment*, Vol. no. 15, Issue 43, Pages 1 – 18, Article Number 9192.
11. Högberg, A., 2011. The process of transformation of industrial heritage: Strengths and weaknesses. *Museum international*, 63(1-2), pp.34-42.
12. Jadach-Sepiolo, Aleksandra, Dominika Muszyńska-Jeleszyńska, and Katarzyna Spadło. "Analysis of the current situation of post-industrial sites in urban areas of three functional zones: Capital City of Warsaw, the City of Plock and the City of Radom together with the city of Pionki." *Vienna: Interreg CENTRAL EUROPE* (2016).
13. Giudice, V., De Paola, P., Bevilacqua, P., Pino, A. and Del Giudice, F.P., 2020. Abandoned industrial areas with critical environmental pollution: Evaluation model and stigma effect. *Sustainability*, 12(13), p.5267.
14. Tsydypova M.A., Alekseev A.A., 2022 Modern approaches to the revitalization of coastal industrial areas // *Internauka: electron. scientific magazine* 2022. №20(243). <https://internauka.org/journal/science/internauka/243>.
15. Rodina, E., Filatov, V., Larionova, A.A., Makarova, L.M., Berezniakovskii, V.S. and Takhumova, O.V., 2018. Revitalization of depressed industrial areas based on ecological industrial parks. *Eurasian Journal of Analytical Chemistry*, 13(1), p.88.
16. Gouda, S., Kerry, R.G., Das, G., Paramithiotis, S., Shin, H.S. and Patra, J.K., 2018. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiological research*, 206, pp.131-140.
17. Biyatov E., 2022. Kazakhstan is establishing domestic production: what will be produced here. <https://ru.sputnik.kz/20220426/kazakhstan-nalazhivaet-otechestvennoe-proizvodstvo-cto-zdes-budut-proizvodit-24458129.html> (last access: 2022-12-22).
18. Karipova, A., Kabdullina, G., Kenesheva, G., Tursumbaeva, M., Kapysheva, S. and Nurgalieva, Z., 2020. Monitoring of industrial enterprises' performance in emerging economy: A case study. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 8(2), p.1177.
19. Mironova Y. 2017. The new life of European "derelicts". <https://34travel.me/post/novaya-zhizn-evropejskikh-zabroshek>.
20. Cymer A., 2019. City: Restart. <https://culture.pl/ru/article/gorod-perezapusk> (last access: 2023-01-05).

21. Cymer A., 2019. The second life of architecture: successful and failed redevelopments. <https://culture.pl/ru/article/vtoraya-zhizn-arkhitektury-udachnye-i-provalnye-pereplanirovki> (last access: 2022-12-27).

22. Hyun O., 2020. An era has gone with them: how the factories and factories of Almaty died. <https://nomad.su/?a=15-202011260029> (last access: 2023-01-05).

23. Minogarov K., 2020. Abandoned Soviet giant factories in Almaty. <https://yvision.kz/post/893969> (last access: 2023-01-05).

24. Miroshnichenko F., 2020. The lost factories and plants of Almaty. <https://voxpopuli.kz/pogibshie-fabriki-i-zavody-almaty-chast-2-14418/> (last access: 2022-12-27).

25. Votinov, M.A., 2014 The main directions of humanization of industrial facilities in the urban environment / M.A. Votinov // Bulletin. - № 2. - p. 114-119.

Information about the authors:

Maulenova Gulnara Dzhuparbekovna – Professor, Department of Architecture, Kazakh National Technical University named after K. Satpayev, Almaty, Kazakhstan.

Mustafa Marzhan Askarkyzy – Master, Kazakh National Technical University named after K. Satpayev, Almaty, Kazakhstan.

Tariq Umar – PhD, CEng, MICE, FHEA, Senior Lecturer (Architecture and the Built Environment), University of the West of England: Bristol, Bristol, GB.

Мауленова Г.Д. – «Сәулет» кафедрасының профессоры, Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, 050013, Алматы, Қазақстан.

E-mail: gulem69@gmail.com

ORCID: 0000-0002-3738-914X.

Мұстафа М.А. – магистр, Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, 050013, Алматы, Қазақстан.

Тарик У. – аға оқытушы (архитектура және салынған орта), Батыс Англия университеті: Бристоль, Бристоль, Ұлыбритания

Мауленова Г.Д. – профессор кафедры «Архитектура», Казахский национальный технический университет им. К. Сатпаева, 050013, Алматы, Казахстан.

E-mail: g.maulenova@satbayev.university

ORCID 0000-0002-3738-914X.

Мұстафа М.А. – магистр, Казахский национальный технический университет им.К. Сатпаева, 050013, Алматы, Казахстан.

Тарик У. – старший преподаватель, Университет Западной Англии: Бристоль, Бристоль, Великобритания.



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 30.19.55

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-150-1-62-75>

Article

Calculation of the stress-strain state of an element of an underground oil pipeline, taking into account the appearance of an overpressure wave

K. Zabiyeva^{ib}, K. Shetiyeva^{1*}^{ib}

Zhetysu university, Taldykorgan, Kazakhstan

(E-mail: *karlygash.shetiyeva@gmail.com)

Abstract. At present, a large number of extended pipeline systems are operated in our country, which are designed for pumping energy resources. Improving the reliability of these pipelines is one of the most important tasks during the operation period. Operational regimes of oil pumping, both through main and field pipelines, provide for a change in pumping capacity, emergency shutdowns of pumping equipment, unauthorized blocking of the flow as a result of closing valves. Such events lead to the occurrence of hydraulic shock in the pipeline and its influence on the strength characteristics of pipes, which can have different material designs.

In this regard, the consideration of issues related to the influence of hydraulic shock on the strength characteristics of the pipeline is very relevant in our time.

This article is devoted to the study of the stress-strain state of an element of an underground oil pipeline, taking into account the occurrence of an overpressure wave. The paper presents calculation methods that make it possible to evaluate the effect of an overpressure wave on the structural elements of a pipeline in an underground environment. The factors influencing the dynamics of deformations and stresses in pipeline materials under various operating conditions are considered.

The analysis of the results of numerical calculations is presented, demonstrating the influence of the parameters of the overpressure wave on the reliability and safety of underground oil pipelines. The findings can be used to optimize the design and operation of pipeline systems under variable loads, thus helping to increase the resilience of the infrastructure and reduce the risk of accidents.

Key words: hydraulic shock, pipeline, temperature, pressure, stress-strain state, pipe wall, pressure wave.

Received 10.02.2025. Revised 23.02.2025. Accepted 27.02.2025. Available online 31.03.2025

¹the corresponding author

Introduction

One of the most dangerous modes during the operation of any pipeline, not without reason, is the phenomenon of hydraulic shock. Hydraulic shock can occur in liquid pipelines, as well as in gas pipelines and pipelines for transporting multiphase systems.

Hydraulic shock is a shock wave that propagates along the longitudinal axis of the pipeline, and also affects all elements installed on it: fittings, pipeline parts and branches from this pipeline.

The pressure wave is caused by a sharp change in pressure along the length of the pipeline, which occurs due to a change in the flow rate of the pumped product.

The speed of pressure wave propagation along the pipeline for oil pipelines can be 335...1372 m/s [1].

As a result, a pressure increase occurs, due to the properties of the fluid, which is practically incompressible and experiences a strong deceleration of the flow core at the moment of valve closing.

Experience in the operation of oil pipelines made it possible to establish the following main causes of hydraulic shock. These include [2, 3]:

- sharp shutoff of the flow when closing the shut-off valves installed along the route of the oil pipeline;
- switching on or off of oil pumps at oil pumping stations due to the operation of emergency protection provided by the project;
- sharp drops in the pipeline sections along the route (contamination of the pipeline section in some sections with deposits of resins, paraffins, asphaltenes);
- the occurrence of unexpected obstacles in the way of moving the fluid flow in the pipeline (possible in the plug mode and the formation of air or liquid plugs);
- opposite direction of flow (typical for branched pipeline systems);
- operation of the check valve installed on the discharge pipeline of the main pump;
- change in the amount of oil withdrawn from the main pipeline;
- enabling/disabling of individual technological units as part of the main oil pipeline;
- difference in oil consumption over a short period of time;
- increase in the flow rate of the product with a diameter of the pipeline that does not correspond to this flow rate;
- high difference in geodetic marks along the pipeline route.

The main consequences of a pressure wave that can occur in an oil pipeline as a result of hydraulic shock are:

- damage to main pumps at PS;
- formation of longitudinal cracks in the pipe body;
- separation of flange connections along their axis;
- damage to the supporting structures of pipelines in above-ground sections;
- destruction of aggregate and cut-off fittings;
- misalignment of pumping equipment with pipeline parts.

Hydraulic shock is inherent in pipelines through which fluid is pumped. This is due to the fact that the speed with which the shock wave propagates through the pipeline directly depends on

the compressibility of the liquid. In addition, the speed is affected by the deformation of the pipe walls and its diameter.

At the same time, the criticality of the properties of a liquid is obvious, which is practically incompressible, unlike a gas. Therefore, the most critical phenomenon of hydraulic shock is for oil pipelines and oil product pipelines, which are widespread and of considerable length in our country.

A diagram of the occurrence of hydraulic shock is shown in Figure 1.

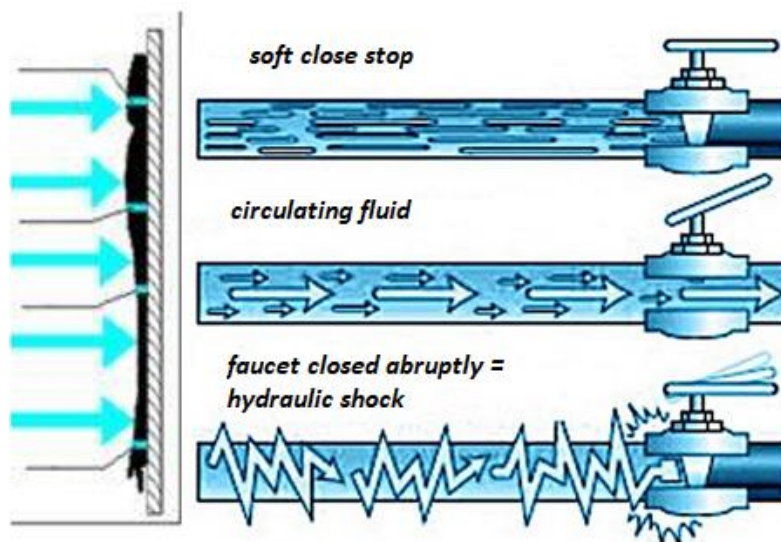


Figure 1. Scheme of the occurrence of hydraulic shock in the pipeline when shutoff valves are closed

The main purpose of the work carried out is to develop an algorithm for calculating the effect of hydraulic shock on the SSS, strength and bearing capacity of an underground pipeline.

The main requirement for the algorithm is the simplicity of calculation and practicality in use, which is necessary for engineers when designing oil pipelines.

The developed algorithm is most relevant in the conditions of commissioning of an oil pipeline when it is put into operation, testing the operation of pumping equipment, debugging software designed to operate linear shut-off valves and shut them off in various emergency situations and events that go beyond the design values.

The methodology

When the flow is shut off with the use of shut-off valves, its sharp deceleration occurs, which leads to an increase in fluid pressure by several times.

The pressure increase during hydraulic shock is determined by the well-known Zhukovsky formula:

$$\Delta P_{imp} = \rho \cdot \Delta v \cdot c \quad (1)$$

where ρ is the density of the pumped liquid; Δv is the change in the flow rate. When the flow stops, it will be equal to the liquid flow rate before the pumping stop; c is the velocity of shock wave propagation, which is determined by formula (2):

$$c = \sqrt{\frac{E_l}{\rho \cdot \left(1 + \frac{D_{in} \cdot E_l}{\delta \cdot E_p}\right)}} \quad (2)$$

where E_l is the modulus of elasticity of the liquid; D_{in} – inner diameter of the pipe; δ – pipe wall thickness; E_p – the modulus of elasticity of the pipe material (Young's modulus).

Regulatory documentation [4] establishes the requirements for calculating the thickness of the pipeline wall according to the following relationship:

$$\delta = \frac{n \cdot p \cdot D_o}{2 \cdot (R_1 + n \cdot p)} \quad (3)$$

where n is the reliability factor for the load – the internal working pressure in the pipeline, taken according to table 14 [4]; p is the working pressure in the pipeline; D_o – outer diameter of the pipeline; R_1 – calculated tensile (compression) resistance.

From this formula we express the working pressure in the pipeline:

$$p = \frac{2 \cdot R_1 \cdot \delta}{n \cdot D_o - n \cdot \delta} \quad (4)$$

Obviously, in order for the selected wall thickness to be able to withstand the operating pressure in the pipeline and the pressure resulting from hydraulic shock, the following condition must be met

$$p + \Delta P_{imp} \leq \frac{2 \cdot R_1 \cdot \delta}{n \cdot D_o - n \cdot \delta} \quad (5)$$

Substituting in formula (5) the value for c from formula (2), we obtain:

$$p + \rho \cdot \Delta v \cdot \sqrt{\frac{E_l}{\rho \cdot \left(1 + \frac{D_{in} \cdot E_l}{\delta \cdot E_p}\right)}} \leq \frac{2 \cdot R_1 \cdot \delta}{n \cdot D_o - n \cdot \delta} \quad (6)$$

Comparing the left and right parts of the equation, it is necessary to strive for their equality. Table 1.1 shows the initial data for calculating the hydraulic shock in an oil pipeline and studying the effect of hydraulic shock on the strength of a pipeline made of steel 17G1SU.

Table 1. Initial data for calculation

Parameter	Meaning
Outer diameter of the pipeline, mm	720

Pipeline wall thickness, mm	10,0
Load safety factor	1,15
Design tensile strength, MPa	510
Oil density, kg/m ³	835,0
Pipe inner radius, mm	350
Fluid elasticity modulus, MPa	1300
Modulus of elasticity of the pipe material (Young's modulus), MPa	206000
Change in flow rate (when the flow stops, it will be equal to the liquid flow rate before the pumping stop), m/s	1,0
Working pressure in the pipeline	6,0

Substituting numerical values into formula (6), we obtain:

$$835 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{\frac{1300 \cdot 10^6}{835 \cdot \left(1 + \frac{700}{10} \cdot \frac{1300}{206000}\right)}} + 6,0 \leq \frac{2 \cdot 271,8 \cdot 10}{1,15 \cdot 720 - 1,15 \cdot 10}$$

$$6,43 \text{ МПа} < 6,65 \text{ МПа}$$

The condition is met. Consequently, the hydraulic shock that occurs in the pipeline under consideration does not reduce the strength characteristics of the pipeline with a diameter of 720x10 mm when the flow is decelerated as a result of hydraulic shock from 0.75 m/s to 0.

In addition to the above calculations, studies were also carried out on the effect of hydraulic shock on the strength of the pipeline with an increase in pumping speed from 0.1 m/s to 1.0 m/s.

Other sizes of pipelines and pipeline steel with strength characteristics were also considered, below those given in Table 1.

The calculation results are presented in the graphs (see Figure 2).

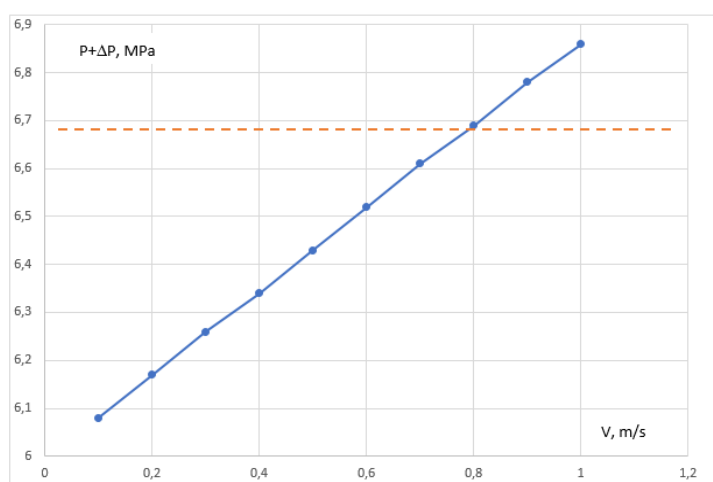


Figure 2. Graph of the dependence of the pressure increase due to hydraulic shock on the product velocity in the pipeline Ø720x10 (steel 17G1SU)

It can be seen from Figure 2 that at only a product velocity of more than 0.75 m/s, the phenomenon of hydraulic shock becomes dangerous for the strength characteristics of the pipeline. If the product speed exceeds 0.75 m/s and the flow slows down to its complete stop, the pipe wall may be destroyed due to the occurrence of hydraulic shock.

For main pipelines, the speed of the pumped product in the range from 0.3 to 0.75 m/s is acceptable. By maintaining it, it is possible to prevent the negative impact of hydraulic shock with the destruction of the pipeline wall.

Table 2 shows the characteristics of the considered pipelines, the diameters of which are most often used for the construction of trunk and field oil pipelines. The working pressure in the pipelines is assumed to be no more than 6.0 MPa.

Table 2. Piping sizes and material design

Pipeline diameter, mm	Pipeline wall thickness, mm	Pipe material	Design tensile strength, MPa
325	5,0	Steel 20	218,55
426	7,0	Steel 20	218,55
530	9,0	Steel 20	218,55
610	10,0	Steel 20	218,55
720	12,0	Steel 20	218,55

Using formula (6), we check the strength retention of pipelines of various diameters at a product operating pressure of 6.0 MPa and a pumped oil velocity of 0.5 m/s.

The diagram shown in Figure 3 shows the excess of the impact of hydraulic shock over the allowable (in terms of pipe strength) values.

It can be seen from Figure 3 that steel 20 with lower strength characteristics used for pipelines reduces the strength of the pipeline, which cannot withstand hydraulic shock even at low speeds of the pumped product.

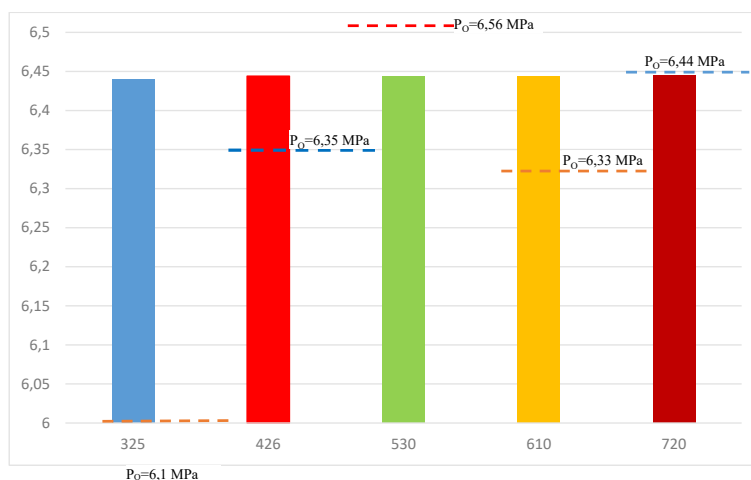


Figure 3. Diagram of pressure growth due to hydraulic shock in pipelines of various diameters at a product velocity of 0.5 m/s (the dotted line shows the allowable pressure in the pipeline)

It can be seen from the diagram in Figure 3 that only for pipeline diameters of 530x9 mm and 720x10, the pressure arising in the pipeline due to hydraulic shock does not exceed the strength characteristics of the pipe material. Therefore, this product pumping speed (equal to 0.5 m/s) can be recommended as safe for pipeline operation.

However, in accordance with the recommendations [4], it is necessary to check the strength and stability of the underground pipeline from the condition that plastic deformations are not allowed according to the following design dependencies:

$$|\sigma_l^S| \leq \psi_1 \cdot \frac{m}{0,9 \cdot k_S} \cdot R_2^S \quad (7)$$

$$\sigma_h^S \leq \frac{m}{0,9 \cdot k_S} \cdot R_2^S \quad (8)$$

where σ_l^S – the maximum total longitudinal stresses that occur in pipelines under the action of standard loads on it; σ_h^S – hoop stresses from the standard (working) pressure, which are determined by formula (9); ψ_1 – coefficient that takes into account the biaxial stress state of the pipeline material from which it is made (steel).

$$\sigma_h^S = \frac{p \cdot D_{in}}{2 \cdot \delta} \quad (9)$$

As can be seen from formula (9), hoop stresses depend on the operating pressure in the pipeline.

Under the action of hydraulic shock in the pipeline, it is proposed to switch in formulas (7) and (8) from standard longitudinal and hoop stresses to extreme longitudinal and hoop stresses that occur in the pipeline under the action of hydraulic shock. Then formulas (7) and (8) will take the following form:

$$\sigma_l^E \leq \psi_1 \cdot \frac{m}{0,9 \cdot k_S} \cdot R_2^S \quad (10)$$

$$\sigma_h^E \leq \frac{m}{0,9 \cdot k_S} \cdot R_2^S \quad (11)$$

Consequently, with its growth, due to hydraulic shock, this parameter will also increase. Let us determine the hoop stresses for the boundary value of the oil velocity in the pipeline, which is 0.75 m/s.

According to formula (9) for a 720x10 mm pipeline, we obtain:

$$\sigma_h^E = \frac{(p + \Delta P) \cdot D_{in}}{2 \cdot \delta}$$

$$\sigma_h^E = \frac{(6,0 + 0,65) \cdot 720}{2 \cdot 10} = 239,4 \text{ MPa}$$

In accordance with the requirements of [2], we check condition (11):

$$\begin{aligned} 239,4 &\leq \frac{0,825}{0,9 \cdot 1,155} \cdot 353 \\ 239,4 &\leq \frac{0,825}{0,9 \cdot 1,155} \cdot 353 \\ 239,4 \text{ MPa} &\leq 280,15 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Condition (11) is satisfied even if the boundary value of the oil velocity in the pipeline is 0.75 m/s.

It is also necessary to check condition (10). The maximum total longitudinal stresses in the pipeline from standard loads are determined by the formula given in [4]:

$$\sigma_l^E = \mu \cdot \sigma_l^E - \alpha \cdot E \cdot \Delta t \pm \frac{E \cdot D_0}{2 \cdot \rho} \quad (12)$$

where α – coefficient of linear expansion of the pipe metal; Δt – calculated temperature difference (positive when heated); ρ is the minimum radius of elastic bending of the pipeline axis, cm; μ is the Poisson's ratio.

Substituting numerical values into formula (12), we obtain:

$$\sigma_h^E = 0,3 \cdot 239,4 - 12,12 \cdot 10^{-6} \cdot 206000 \cdot 76,2 \pm \frac{206000 \cdot 72,0}{2 \cdot 70000} = 175,3 \text{ МПа}$$

Using formula (10), we check the condition according to which the extreme total longitudinal stresses in the pipeline will not exceed the standard ones:

$$\begin{aligned} 175,3 &\leq 0,94 \cdot \frac{0,825}{0,9 \cdot 1,155} \cdot 353 \\ 175,3 \text{ MPa} &< 263,3 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Thus, a test for extreme total longitudinal stresses in the pipeline showed that they would be less than the allowable values. Therefore, a product velocity of 0.75 m/s is the maximum possible, based on the strength characteristics of the pipeline.

When choosing a product pumping speed, it is also necessary to check the overall stability of the pipeline in the longitudinal direction according to the condition set out in [4]:

$$S \leq m \cdot N_{cr} \quad (13)$$

where S is the equivalent longitudinal axial force in the pipeline section. It is determined by the formula [4]:

$$S = 100 \cdot [(0,5 - \mu) \cdot \sigma_h + \alpha \cdot E \cdot \Delta t] \cdot F \quad (14)$$

where F is the cross-sectional area of the pipe, cm^2 ; N_{cr} – critical longitudinal force. Under its influence, there is a loss of longitudinal stability of the pipeline. Determined by the formula:

$$N_{cr} = \frac{2 \cdot \pi \cdot E \cdot \delta^2}{\sqrt{3 \cdot (1 - \mu^2)}} \quad (15)$$

Based on the results of the analysis of formulas (14) and (15), it can be concluded that only the value of S is affected by the value of hydraulic shock in the pipeline.

Thus, by analogy with the above calculated dependences, we obtain the value of the extreme equivalent longitudinal axial force S_{extr} :

$$S_{extr} = 100 \cdot [(0,5 - \mu) \cdot \sigma_h^E + \alpha \cdot E \cdot \Delta t] \cdot F \quad (16)$$

Making successive calculations according to formulas (16), (15) and (13), we obtain:

$$\begin{aligned} S_{extr} &= 100 \cdot [(0,5 - 0,3) \cdot 239,4 + 12,12 \cdot 10^{-6} \cdot 206000 \cdot 76,2] \cdot 54,95 \\ &= 5,33 \text{ MN} \\ N_{cr} &= \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 206000 \cdot 10^2}{\sqrt{3 \cdot (1 - 0,3^2)}} = 78,3 \text{ MN} \end{aligned}$$

Under the action of hydraulic shock, it becomes extreme. Then:

$$\begin{aligned} 5,33 &\leq 0,825 \cdot 78,3 \\ 5,33 \text{ MN} &< 64,6 \text{ MN} \end{aligned}$$

Thus, when exposed to extreme pressure in the pipeline caused by water hammer, the overall stability of the pipeline in the longitudinal direction is maintained.

Therefore, calculations confirm that the value of extreme pressure increase due to water hammer will be safe for a 720x10 mm pipeline at a product pumping speed of 0.75 m/s.

The article presents mathematical models for estimating pressure increase in an oil pipeline due to hydraulic shock. In particular, formulas are given for calculating the pressure change and the velocity of propagation of the shock wave.

The study shows that with certain parameters of the oil pipeline and the flow rate of the product, the strength characteristics of the pipe can remain within safe values.

The analysis of the conditions necessary to ensure the strength and stability of the oil pipeline in the conditions of hydraulic shock is made.

Thus, the study provides important data for engineers and specialists in the oil industry to ensure the safety and efficiency of pipeline operations.

Findings/Discussion

As a result of the study of the effect of hydraulic shock on the strength characteristics of an underground oil pipeline, it is shown that for an oil pipeline with parameters 720x10 mm, at a product velocity of up to 0.75 m/s, hydraulic shock does not lead to a violation of strength.

If the product velocity exceeds 0.75 m/s, there is a threat of destruction of the pipe walls due to exceeding the permissible stresses.

The safe product speed range for the main pipelines has been determined: from 0.3 to 0.75 m/s. Within this range, the negative effects of hydraulic shock are prevented.

Steel with low strength characteristics (for example, steel 20) has shown an inability to withstand the pressure of hydraulic shock at low product speeds.

High-strength steels, such as 17G1SU, exhibit the best performance to prevent accidents.

Graphs of pressure versus flow velocity have confirmed that an increase in velocity of more than 0.75 m/s in pipes of smaller diameter leads to dangerous loads.

A hydraulic shock occurs when the product speed changes abruptly, which requires strict control of operating modes.

The main causes of hydraulic shock include emergency closure of shut-off valves, starting/stopping of pumps and sudden changes in geodetic markings of the pipeline.

The research results are useful for designing new pipeline systems and upgrading existing ones.

Automatic protection systems, such as alarm devices and software that monitors speed limits, are needed to prevent damage.

Technical limitations, such as the immutability of pipe diameter and thickness, require a detailed calculation of the permissible product velocity.

The use of high-strength materials is recommended to minimize the effects of accidental hydraulic shocks.

Additional research needs to be conducted to study the effects of material heterogeneities and prolonged cyclic loads.

The introduction of dynamic monitoring systems in real time can further enhance operational safety.

Conclusion

According to the results of the calculations, it can be concluded that during the operation of pipelines, it is of practical importance to determine the mode of oil pumping with the calculation of the allowable flow rate.

Such regimes can occur during commissioning, during which there is an uncontrolled change in the speed of the product in the pipeline. In addition, at this time there is a debugging of software designed to control the shut-off valves installed along the pipeline route. During the debugging period, its unauthorized closing is possible, which can cause a hydraulic shock.

In this regard, it is proposed to implement the following compensatory measures [5, 6, 7]:

– installation of such modes of operation of pumping equipment at the pumping station, in which the pump will not exceed the calculated pumping capacity, which determines the extreme speed of the product in the pipeline;

– signaling the extreme speed of the product in the pipeline by the equipment of the operational (or commercial oil metering unit) located at the outlet of the pumping station.

The described automatic protections and alarms make it possible to prevent the occurrence of hydraulic shock during the period of unstable operation of the pipeline.

Ceteris paribus, when the diameter of the pipeline, the thickness of the pipe wall and its material design cannot be changed due to technical and economic reasons, the most rational

way to prevent hydraulic shock is to calculate the allowable fluid flow rate in the pipeline and prevent the causes that can lead to it achievement.

However, it should be noted that in order to absorb hydraulic shock, which cannot be prevented during the entire period of operation of the pipeline, since it is random, it is recommended to use steel with high strength characteristics. These steels include 17G1SU, 13KhFA, 05KhGB and others.

The contribution of the authors.

Zabiyeva K. – contribution to the concept; execution of the claimed scientific research; creation of a scientific article.

K. Shetiyeva – contribution to the concept.

References

1. Mansuri, Behnam & Salmasi, Farzin & Oghati, Behrooz. (2014). Sensitivity Analysis for Water Hammer Problem in Pipelines. 10.5829/idosi.ijee.2014.05.02.03.

2. Ledovskij G.N. Obosnovanie sposoba zashhity` osnovnogo oborudovaniya nefteperekachivayushhikh stanczij ot voln davleniya. / Dissertacziya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Sankt-Peterburg 2016. – 124 s.

3. Lur`e M.V. Metod rascheta perekhodny`e proccessov v nefteprovodakh s vozmozhnym obrazovaniem i ischeznoeniem parogazovy`kh polostej. / M.V.Lur`ev // Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefti i nefteproduktov. – 2011. - №4. S. 58-63. ISSN: 2221-2701 eISSN: 2541-9595

4. SP 36.13330.2012. Magistral`ny`e truboprovody`. Aktualizirovannaya redakczija SNIp 2.05.06-85*. Utverzhden prikazom Federal`nogo agentstva po stroitel`stvu i zhilishhno-kommunal`nomu khozyajstvu (Gosstroj) ot 25 dekabrya 2012 g. N 108/GS i vveden v dejstvie s 1 iyulya 2013 g.

5. Sumskoj S.I., Agapov A.A., Sofin A.S. O kriticheskikh zamechaniyakh po stat`e «Modelirovanie avarijny`kh utechek na magistral`ny`kh nefteprovodakh». / Bezopasnost` truda v promy`shlennosti. - 2015. - №7 S. 66-71. ISSN: 0409-2961 eISSN: 2658-5537

6. Modelirovanie perekhodny`kh i avarijny`kh proccessov v magistral`ny`kh nefteprovodakh s pomoshh`yu metoda S.K.Godunova / S.A.Gubin, T.V.Guina, S.I.Sumskoj i dr. // Bezopasnost` truda v promy`shlennosti. – 2013. - #10. S. 65-72.

7. Kaliczun V.I., Drozdov E.V., Komarov A.S., Chizhik K.I. Osnovy` gidravliki i ae`rodinamiki. M.: Strojizdat, 2001 – 296 s.

К.Забиева, К.Шетиева*

І.Жансүгіров атындағы Жетісу университеті, Талдықорған, Қазақстан

Жер асты мұнай құбыры элементінің жоғары қысым толқынының пайда болуын ескере отырып кернеулі-деформациялық күйін есептеу

Андатпа. Қазіргі уақытта біздің елде энергия ресурстарын айдауға арналған көптеген кеңейтілген құбыр жүйелері жұмыс істейді. Бұл құбырлардың сенімділігін арттыру пайдалану

кезеңіндегі ең маңызды міндеттердің бірі болып табылады. Магистральдық және шаруашылық құбырлар арқылы мұнай айдаудың жұмыс режимдері айдау қуатының өзгеруін, сорғы жабдықтарының апаттық тоқтатылуын, вентильдердің жабылуы нәтижесінде ағынның рұқсатсыз бітелуін қарастырады. Құбырдағы ағынның тоқтатылуымен сипатталатын мұндай оқиғалар құбырда гидравликалық соққының пайда болуына әкеледі және де ол құбырдың беріктік қасиеттеріне әсер етеді.

Сол себепті, гидравликалық соққының құбырдың беріктік сипаттамаларына әсеріне қатысты мәселелерді қарастыру қазіргі уақытта өте өзекті болып табылады.

Бұл мақала артық қысым толқынының пайда болуын ескере отырып, жер асты мұнай құбыры элементінің кернеулі деформацияланған күйін зерттеуге арналған. Жұмыста жер асты ортасындағы құбырдың құрылымдық элементтеріне артық қысым толқынының әсерін бағалауға мүмкіндік беретін есептеу әдістері келтірілген. Әр түрлі жұмыс жағдайында құбыр материалдарындағы деформациялар мен кернеулердің динамикасына әсер ететін факторлар қарастырылады.

Артық қысым толқыны параметрлерінің жер асты мұнай құбырларының беріктігі мен қауіпсіздігіне әсерін көрсете отырып, сандық есептеулер нәтижелерінің талдаулары келтірілген. Алынған қорытындылар жер асты құбырының беріктігін арттыруға және авариялық жағдайлардың туындау қаупін азайтуға ықпал ете отырып, ауыспалы жүктемелер жағдайында құбыр жүйелерін жобалау мен пайдалануды оңтайландыру үшін пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: гидравликалық соққы, құбыр, температура, қысым, кернеулі-деформациялық күй, құбыр қабырғалары, қысым толқындары

К. Забиева, К. Шетиева*

Жетысуский государственный университет имени И. Жансугурова, Талдықорган, Казахстан

Расчет напряженно-деформированного состояния элемента подземного нефтепровода с учетом появления волны повышенного давления

Аннотация. В настоящее время в нашей стране эксплуатируется большое количество протяженных трубопроводных систем, которые предназначены для перекачки энергоресурсов. Повышение надежности этих трубопроводов является одной из важнейших задач в период эксплуатации. Эксплуатационные режимы перекачки нефти, как по магистральным, так и по промысловым трубопроводам предусматривают изменение производительности перекачки, аварийные отключения насосного оборудования, несанкционированное перекрытие потока в результате закрытия запорной арматуры. Подобные события ведут к возникновению гидравлического удара в трубопроводе и влияние его на прочностные характеристики труб, которые могут иметь различное материальное исполнение.

В связи с этим, рассмотрение вопросов, связанных с влиянием гидроудара на прочностные характеристики трубопровода, является в наше время весьма актуальным.

Данная статья посвящена исследованию напряженно-деформированного состояния элемента подземного нефтепровода с учетом возникновения волны избыточного давления. В работе представлены методы расчета, позволяющие оценить воздействие волны избыточного

давления на структурные элементы трубопровода в подземной среде. Рассматриваются факторы, влияющие на динамику деформаций и напряжений в материалах трубопровода при различных условиях эксплуатации.

Приведены анализы результатов численных расчетов, демонстрируя влияние параметров волны избыточного давления на надежность и безопасность подземных нефтепроводов. Полученные выводы могут быть использованы для оптимизации проектирования и эксплуатации трубопроводных систем в условиях переменных нагрузок, способствуя повышению стойкости инфраструктуры и снижению риска возникновения аварийных ситуаций.

Ключевые слова: гидроудар, трубопровод, температура, давление, напряженно-деформированное состояние, стенка трубы, волна давления.

References

1. Mansuri, Behnam & Salmasi, Farzin & Oghati, Behrooz. (2014). Sensitivity Analysis for Water Hammer Problem in Pipelines. 10.5829/idosi.ijee.2014.05.02.03.
2. Ledovskij G.N. Obosnovanie sposoba zashhity` osnovnogo oborudovaniya nefteperekachivayushhikh stanczij ot voln davleniya. / Dissertacziya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Sankt-Peterburg 2016. – 124 s.
3. Lur`e M.V. Metod rascheta perekhodny`e processov v nefteprovodakh s vozmozhny`m obrazovaniem i ischeznoveniem parogazovy`kh polostej. / M.V.Lur`ev // Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefti i nefteproduktov. – 2011. - №4. S. 58-63. ISSN: 2221-2701 eISSN: 2541-9595
4. SP 36.13330.2012. Magistral`ny`e truboprovody`. Aktualizirovannaya redakcziya SNI P 2.05.06-85*. Utverzhden prikazom Federal`nogo agentstva po stroitel`stvu i zhilishhno-kommunal`nomu khozyajstvu (Gosstroj) ot 25 dekabrya 2012 g. N 108/GS i vveden v dejstvie s 1 iyulya 2013 g.
5. Sumskoj S.I., Agapov A.A., Sofin A.S. O kriticheskikh zamechaniyakh po stat`e «Modelirovanie avarijny`kh utechek na magistral`ny`kh nefteprovodakh». / Bezopasnost` truda v promy`shlennosti. - 2015. - №7 S. 66-71. ISSN: 0409-2961 eISSN: 2658-5537
6. Modelirovanie perekhodny`kh i avarijny`kh processov v magistral`ny`kh nefteprovodakh s pomoshh`yu metoda S.K.Godunova / S.A.Gubin, T.V.Guina, S.I.Sumskoj i dr. // Bezopasnost` truda v promy`shlennosti. – 2013. - #10. S. 65-72.
7. Kaliczun V.I., Drozdov E.V., Komarov A.S., Chizhik K.I. Osnovy` gidravliki i ae`rodynamici. M.: Strojizdat, 2001 – 296 s.

Information about the authors:

K. Zabiyeva – Master of Pedagogical Sciences, lecturer of Zhetysu State University named after I. Zhansugurov, 186 Kabylysa zhyrau Street, 040000 Taldykorgan, Kazakhstan

K. Shetiyeva – corresponding author, Master of Technical Sciences, Lecturer-lecturer of Zhetysu State University named after I. Zhansugurov, 186 Kabylysa zhyrau Street, 040000 Taldykorgan, Kazakhstan

К.Забиева – магистр педагогических наук, лектор-преподаватель Жетысуского государственного университета имени И.Жансугурова, улица Кабылыса жырау, 186, 040000 Талдыкорган, Казахстан

К.Шетиева – автор для корреспонденции, магистр технических наук, лектор-преподаватель Жетысуского государственного университета имени И.Жансугурова, улица Кабылиса жырау, 186, 040000 Талдыкорган, Казахстан

К.Забиева – педагогика ғылымдарының магистрі, І.Жансүгіров атындағы Жетісу университетінің оқытушы-дәріскері, Қабылиса жырау көшесі, 186, 040000 Талдықорған, Қазақстан

К.Шетиева – хат-хабар авторы, техника ғылымдарының магистрі, І.Жансүгіров атындағы Жетісу университетінің оқытушы-дәріскері, Қабылиса жырау көшесі, 186, 040000 Талдықорған, 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/>).



Дұрыс көпбұрыштарды тұрғызудағы жүйелі қателіктерді еселемеу амалы

И.О. Мульдеков¹, А.Ж. Куздеубаев*², К.А. Байгутов³, УТ. Қарымсақов²,
Д.Д. Каражанова²

¹«Тараз мемлекеттік университеті» КеАҚ, Тараз, Қазақстан

²«Халықаралық білім беру корпорациясы» ЖШС, Алматы, Қазақстан

³«Абай атындағы қазақ ұлттық педагогикалық университеті» КеАҚ, Алматы, Қазақстан

(E-mail: *akuzdeubayev08@gmail.com)

Аңдатпа. Зерттеу дұрыс көпбұрыштардың геометриялық тұрғызуларындағы жүйелі қателіктерді еселемеу мәселесін қарастырады. Сызба құралдардың дәлсіздігінен, пайдаланушылардың тәжірибесіздігі салдарынан туындайтын шектеулерден және геометриялық тұрғызулар кезінде қателіктердің болуынан туындайтын жүйелі қателіктер геометриялық есептердің дәлдігіне айтарлықтай әсер етеді. Бұл зерттеу жоғары дәлдіктегі нәтижелерге қол жеткізу үшін аталған мәселенің оңтайлы шешімін ұсына отырып, осы қателіктерді азайту үшін геометриялық прогрессия принциптерін және қайталанатын жүйелі қателіктерді еселемеуді қамтитын жаңа амалды ұсынады.

Мақалада ұсынылып отырған әдістеме дұрыс көпбұрыштарды тұрғызудағы жүйелі қателіктерді талдауды, тұрғызулар кезеңдерін оңтайландыруды және қолмен сызу арқылы дәлелді талдауды қамтиды. Негізгі инновацияларға шеңберлерді тең бөліктерге бөлу, геометриялық тұрғызулар бойынша дәлдікті қамтамасыз ету кіреді. Сызба арқылы ұсынылған талдау әдістердің сенімділігін, теориялық мәндерден ауытқулардың азаюын растайды.

Нәтижелер жуық мәнді дұрыс көпбұрыштарды [7(3,4); 9(4,5); 13(6,7)] геометриялық жеңіл тұрғызуда ұсынылып отырған әдістің тиімділігі есептердің шешілуі жолымен көрсетіледі. Бұл әдістер әмбебап болып табылады және геометриялық тұрғызулардағы бұрыннан келе жатқан мәселелерді қайта қарастырады, сонымен бірге Әл-Фараби және Гаусс сияқты математиктердің іргелі еңбектерін кеңейтеді.

Түйін сөздер: жүйелі қателіктер, жеткілікті дәлдік, дұрыс көпбұрыштар, геометриялық тұрғызулар, шеңберлер, геометриялық прогрессия, конструктивті есептер.

Түсті 30.01.2025. Жөнделді 19.02.2025. Мақұлданды 27.02.2025. Онлайн қолжетімді 31.03.2025

¹хат хабар үшін автор

Кіріспе

Тек қана циркуль мен сызғыш арқылы шығарылатын есептер конструктивті есептерге жатады. Олар сандар теориясымен тығыз байланысты екені мәлім. Мұндай есептерді шешу сандардың қасиеттерін зерттеуді және олардың арасындағы қатынастарды анықтауды талап етеді. Атап айтқанда, иррационал сандар мен алгебралық теңдеулердің шешімдері геометриялық тұрғызу есептерін шешуде шешуші рөл атқарады. Сонымен қатар, циркуль және сызғышпен тұрғызылатын фигуралардың белгілі бір санау жүйелерімен шектелетіндігі дәлелденді. Сондықтан, геометриялық салу есептерінің сандар жүйесінің қай тобына жататынын анықтау маңызды. Бұл туралы дәлелді мәліметтер Р.Курант пен Г.Роббинстің еңбектерінде келтірілген. Олар циркуль мен сызғыш арқылы шығарылатын геометриялық есептерді шешудің геометриялық тәсілдерін талдай отырып, бұл есептердің математикалық мәнін және геометрия мен алгебра арасындағы өзара байланысты терең түсіндіреді. Олар бұл мәселелердің тереңдігін және математикалық түсініктердің жетілуін көрсетеді, геометриялық тұрғызулардың мүмкіндіктерін сандар теориясы мен алгебралық тәсілдер арқылы толық түсінуге болатынын көрсетеді. Олар бұл құралдардың көмегімен шешілетін геометриялық есептердің нақты шекараларын айқындайды. Бұл тұрғыда дәлдік пен қателіктерді талдау мәселелері инженерлік және қолданбалы математиканың көптеген салаларында өзекті болып табылады [6]. Мысалы, циркуль мен сызғыш арқылы тек белгілі бір геометриялық фигураларды тұрғызу мүмкін екенін және олар тек белгілі бір сандармен шектелетінін атап өтеді. Мұндай есептер негізінен рационал сандар мен олардың белгілі бір комбинацияларын қамтиды. [3, 155–182 б].

Қателіктер теориясы бойынша жіберілетін қателіктер өрескел ℓ (грубые), кездейсоқ (случайные) және жүйелі (систематические) қателіктер (ошибки) деп аталады [5]. Тексеру арқылы өрескел және кездейсоқ қателіктерде жіберілген қателіктер анықталып, жеңіл түзетіледі, керісінше жүйелі қателіктерді анықтап түзетуге мүмкіндік болмайды. Оларды тек қана еселемеуге болады.

Сызбадағы жүйелі қателіктерге төмендегілерді жатқызуға болады:

- циркуль инесінің ұшы нүктеге дұрыс қойылмауы;
- екі түзудің қиылысу нүктесінің немесе түзу мен қисық сызықтың жанасу нүктесінің дұрыс анықталмауы;
- тұрғызу құралдарының сапасыздығы;
- тұрғызушының (чертежник) тәжірибесіздігі;
- көру нашарлығы және т.б.

Мұндай қателіктер, егер оларды болдыртпаса, барлық геометриялық тұрғызулар процесіне таралып, нәтижелерінде айтарлықтай дәлсіздіктерге әкелуі мүмкін. Классикалық мысалы ретінде Әл-Фарабидің математикалық трактатындағы берілген шеңберді теңдей жеті бөлікке бөлу есебін айтуға болады. Оған сәйкес қабырғалардың ретімен тұрғызылуы соңғы қабырғаның едәуір қысқа болып шығуына алып келеді, бұл тұрғызулардағы жүйелі қателіктердің жинақталуының айқын көрінісі болып табылады.

Бұл мәселені шешу үшін геометриялық тұрғызулардағы жүйелік қателіктердің ықпалын азайтуға, яғни еселемеуге бағытталған жаңа амал ұсынылады. Перпендикуляр биссектрисаларды нүктелерде қолдану және доғаларды жоғары дәлдікпен тең бөліктерге бөлу арқылы бұл амал тұрғызылуы барысында жүйелік қателіктердің еселенбеуіне кепілдік береді. Бұл амал дұрыс көпбұрыштармен байланысты әртүрлі есептерге [10], олардың жеті, тоғыз, он бір немесе одан да көп жақтары бар-жоғына қарамастан қолданылу әлеуетін көрсетеді.

Кең мағынасында жүйелік қателіктерді еселемеу мәселесі шеңберді тоғыз немесе он үш тең бөлікке бөлу сияқты басқа геометриялық есептерге де таралады. Мысалы, шеңберді тоғыз тең бөліктеріне бөлу кезінде ұсынылған әдіс геометриялық прогрессия принциптеріне негізделген доға өлшемдерін реттеу арқылы мінсіз дәлдікті қамтамасыз етеді. Сол сияқты, шеңберді он үш бөлікке бөлу қабырғаның ұзындығын бірнеше рет нақтылауды қажет етті, нәтижесінде теориялық мәндерден минималды ауытқу пайда болды.

Мұндай жетілдірулердің теориялық негізі геометриялық прогрессия принциптерінде және сызба құралдары мен тұрғызу әдістерді дәл қолдануда жатыр. Осы принциптерді қолдану арқылы математикалық және инженерлік салаларда практикалық қолдану үшін жеткілікті дәлдік деңгейіне қол жеткізіледі. Сонымен қатар, бұл амалды болашақта осындай жағдайларға ұқсас мәселелерді шешуге сенімді негіз бола отырып, басқа күрделі геометриялық есептерге дейін кеңейтуге болады.

Зерттеу сонымен қатар Әл-Фарабидің математикалық тәжірибесін және Гаусстың дұрыс көпбұрыштарды тұрғызу жөніндегі жұмысын қоса алғанда, алдыңғы зерттеулерді ескере отырып, осы жетістіктердің салдарын зерттейді. Тарихи білімді заманауи техникамен ұштастыра отырып, бұл зерттеу математикалық тұрғызулардың дәлдігі мен сенімділігіне баса назар аудара отырып, геометриялық есептерді шешудің кең саласына ықпал етеді. Жүйелі талдау және практикалық тексеру арқылы ұсынылған амал геометриялық сызбадағы дәлдік стандарттарын қайта анықтайды, осы саладағы болашақ инновацияларға жол ашады.

Әдіснама

Осы зерттеуде сипатталған амал циркуль мен сызғыштың көмегімен геометриялық тұрғызулардағы жүйелі қателіктерді еселемеуге бағытталған. Құралдар дәлдікті қамтамасыз ету үшін мұқият іріктеліп, дайындалады және бақылау нәтижелерінің өзгермелілігін азайту үшін барлық тұрғызулар сызушымен бақыланатын жағдайларда орындалды.

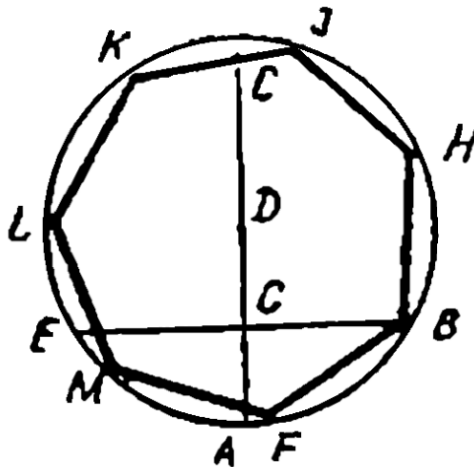
Теориялық негізге геометриялық прогрессия мен қателіктерді талдау кіреді. Әрбір дұрыс көпбұрыш үшін орталық бұрыштар мен бүйірлік ұзындықтар сияқты негізгі параметрлер анықталды және қабырғаның берілуіндегі дәлсіздіктер мен сәйкессіздіктер сияқты ықтимал қателіктер көздері анықталды. Геометриялық модельдеу кезінде дәлдікпен қателіктерді бағалау заманауи зерттеулердің маңызды бағыттарының бірі болып саналады [7]. Бұл қателіктердің таралуын еселемеу үшін тұрғызылуы қадамдарын оңтайландыруға негіз болды.

Тұрғызылу әдісінің дәлдігін қамтамасыз ету үшін итеративті процесс қолданылды. Көпбұрыштың қабырғаларын анықтау үшін шеңбер тең доғаларға бөлінді. Бастапқы қабырғалар ауытқуларды еселемеу үшін геометриялық прогрессия әдістерін қолдана отырып, перпендикуляр биссектрисалар мен қайталанатын доға биссектрисаларының көмегімен тұрғызылды және жетілдірілді.

Бұл инновациялар геометриялық сызбадағы бұрыннан келе жатқан мәселелерді шешіп қана қоймай, сонымен қатар теориялық және қолданбалы геометриядағы болашақ жетістіктердің негізін қалайды.

Нәтижелер және талқылау

Сызба жұмыстарында жүйелі қателіктердің еселенбеуі ескерілмесе дұрыс нәтиже шықпайды. Жүйелі қателіктердің еселенуі дегеніміз – бір қателік бірнеше рет қайталанып, нәтижесінде бастапқы қателік үлкейіп кетеді. Әл-Фарабидің математикалық трактатында [1, 126 б] дұрыс жеті (7) бұрыштың кері есебінің, яғни шеңберді теңдей жетіге бөлу есебінің сызбасы келтірілген (сур. 1). Онда: бірінші (BF) қабырға тұрғызылған соң, оның оң жағына тізбектеліп үш (FM, ML және LK) кесінді, ал сол жағына екі (BH, HJ) тұрғызылған. Нәтижесінде соңғы (JK) жетінші қабырға бәрінен қысқа болып шыққан. Сондықтан, жүйелі қателіктер еселеніп кеткен. Бұл қателіктің түпкі себебі — жүйелі қателіктердің қалыптасуы, яғни алғашқы қателік барлық кейінгі есептеулер мен тұрғызуларда қайталанып, нәтижеге ықпал етеді. Мұндай жағдайлар геометриялық тұрғызуларда жиі кездеседі, әсіресе әрбір қадамда дәлдік сақталмаса.



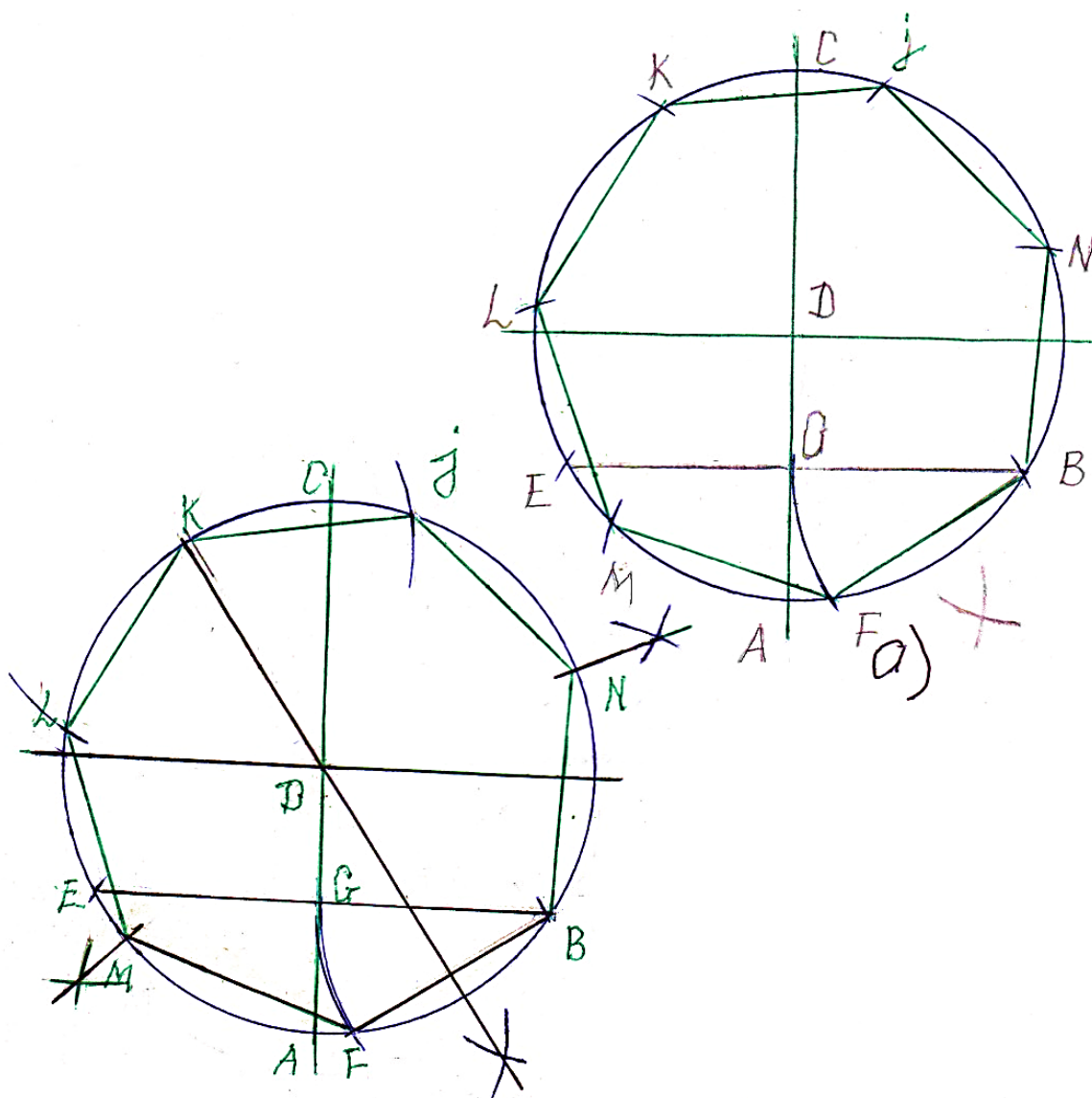
1-сурет. Шеңберді теңдей жетіге бөлу мысалы

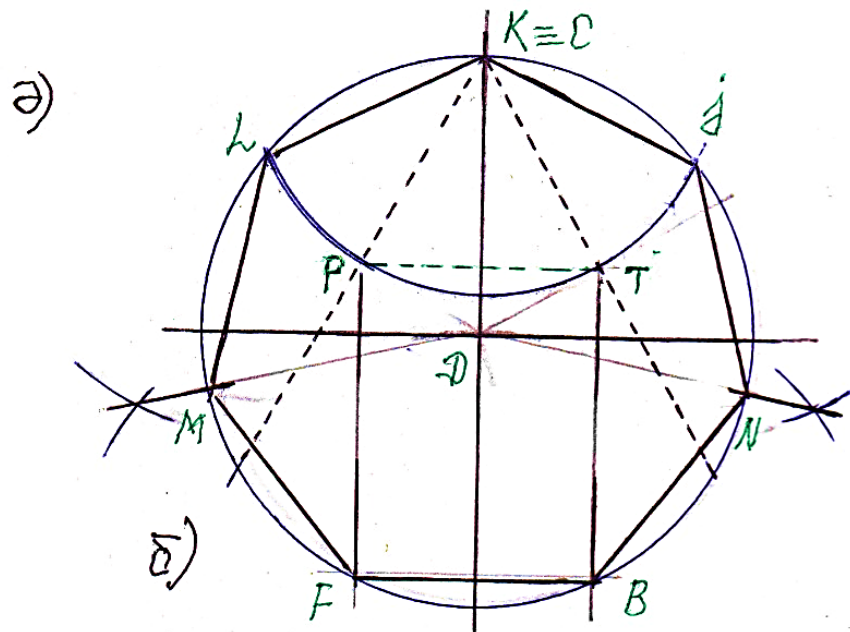
Шеңберді жетіге бөлу. Дұрыс нәтиже алу үшін шеңберді жетіге (7 бөлікке) бөлуде ұсынылатын амалды қарастырайық: бірінші (BF) қабырғасының ортасынан өтетін перпендикуляр арқылы ($\varphi=360:7$) доғасын екіге бөлетін (K) төбесі тұрғызылады (сур. 2 а, ә). Осы (K) нүктенің екі жағына жеті бұрыштың қабырғалары (KL, KJ) салынып, екі жағында қалған доғалар екіге бөлінеді (сур. 2 б).

Бұл әдіс шеңберді жетіге бөлудің дәл әрі дұрыс нәтижесін береді, себебі әрбір қадамда перпендикуляр және басқа геометриялық қатынастарды пайдалану арқылы жүйелі қателіктердің еселенуі болдырылмайды. Әрбір қабырға мен бұрыштың дәлдігі мұқият бақылауда болады, нәтижесінде шеңбердің бөлінісі дұрыс әрі біркелкі шығады.

Бұл тәсілдер дұрыс көпбұрыштарды тұрғызу кезінде қателіктердің еселенуін болдырмайды және бөлудің дәлдігін қамтамасыз етеді.

Шынымен де, шеңберді дұрыс көпбұрыштарға бөлу кезінде көпбұрыштардың қабырғаларының саны қанша болғанына қарамастан, оларды n және $n+1$ етіп бөлу тиімді әдіс болып табылады. Мысалы, (7, 9, 11, 13, 17, 19) көпбұрыштар үшін оларды n және $n+1$ [7(3,4); 9(4,5); 11(5,6); 13(6,7); 17(8,9); 19(9,10)] етіп бөліп тұрғызу тиімді амал екенін көрсетеді. Бұл тәсіл дұрыс көпбұрыштарды тұрғызу кезінде қателіктердің еселенуін болдырмайды және бөлудің дәлдігін қамтамасыз етеді. Сондықтан, шеңбердің центрлік бұрышын, геометриялық прогрессия заңдылықтарына сай етіп жеткілікті дәлділікпен бөлшектеуге болады [4].





2-сурет. Шеңберді дұрыс жеті бөлікке бөлуде жүйелі қателіктер еселемеу амалы

Бұл секілді тұрғызуларды Гаусс та растайды, оның теоремасы бойынша шеңберді дұрыс n бұрышқа бөлу мүмкіндігі тек белгілі бір шарттарды орындағанда ғана болады. Яғни, дұрыс көпбұрыштарды циркуль мен сызғыш арқылы тұрғызу үшін n -нің мәні арнайы сандық қасиеттерге ие болуы тиіс. Бұл теоремада былай делінген: дұрыс көпбұрышты циркуль мен сызғыш арқылы тұрғызу мүмкін болады, егер n -нің мәні келесі түрде жазылса:

$$n=2^k p_1 p_2 \dots p_m,$$

мұндағы p_1, p_2, \dots, p_m – Фермнің қарапайым сандары, яғни p_i сандары түрінде болатын қарапайым сандар, ал k – бүтін сан. Бұл теорема бойынша, дұрыс көпбұрыштарды тұрғызу үшін n -нің мәні осы қасиеттерге сай болуы керек. Егер n -нің мәні осы формада болса, онда шеңберді дұрыс n -бұрышқа бөлуге болады (мұндағы $m=0$ жағдайы $n=2^k$ ға сәйкес келеді) [2]. Бұл теорема шеңберді дұрыс көпбұрыштарға бөлу мәселесіне арналған және геометриялық тұрғызу теориясында өте маңызды. Бұл теорема арқылы біз дұрыс көпбұрыштарды тұрғызудың мүмкіндігі тек белгілі бір сандық қасиеттерді қанағаттандыратын жағдайларда ғана болатынын түсінеміз. Сонымен қатар, инженерлік және қолданбалы геометрияда дискретті дифференциалдық геометрия әдістері дәлдік тұрғызуларды жетілдіру үшін кеңінен қолданылады [8].

Жуық мәнді дұрыс көпбұрыштарды, геометриялық прогрессия заңдылығына сай тұрғызу әдісі 30° -тың бұрышты бөлшектеуге, $30^\circ \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2^2} + \dots + \frac{1}{2^n} \right) = (15 + 7,5 + 3,75 + \dots + 0,46875 + \dots)$ негізделген. Циркуль мен сызғыш арқылы бөлшектеудің $30^\circ \frac{1}{2^6}$ дейінгі бөлшектерді тұрғызуға болады, ал басқа бөлшектерді тұрғызуға мүмкіндік жоқ [2].

Шеңберді тоғызға бөлу. Шеңберді тоғызға (9 бөлікке) бөлу үшін, оның 5φ ($\varphi = 360^\circ:9=40^\circ$) үлкен бөлігі ($h=4\varphi$, $h+1=5\varphi$) алынады. Демек, бұл $5\varphi=200^\circ$ нақты өлшеміне жуық мәнді $5\varphi'=200,15625^\circ$, яғни: $210-30^\circ \left(\frac{1}{2^2} + \frac{1}{2^4} + \frac{1}{2^6}=200,15625^\circ\right)$. Демек, $5\Delta\varphi=$

$5(\varphi'-\varphi) = 0,156250$ -қа тең. Сонда $\Delta\varphi_5=0,031250=0001'52,5''$ -ке тең болып шығады. Бұл көрсеткіш шеңберді 9 бөлікке бөлген кезде, алынған мәннің жеткілікті дәл екенін білдіреді. Бұл қателік өте кіші, яғни геометриялық тұрғызулар мен көпбұрыштарды анықтауда бұның әсері айтарлықтай болмайды.

Шеңберді он үшке бөлу. Шеңберді он үшке (13 бөлікке) бөлудің есебі төмендегідей ұсынылады:

$$\varphi=360:13=27,692308$$

$$7\varphi=193,846156^\circ; 7\varphi'=193,59625^\circ$$

$$7\Delta\varphi=7(\varphi-\varphi')=0,252406^\circ$$

$$\Delta\varphi_7=0,036058^\circ=0^\circ 02' 10''$$

$$6\varphi=166,153848^\circ$$

$$6\varphi'=166,40625^\circ$$

$$6\Delta\varphi=6(\varphi'-\varphi)=0,252402^\circ$$

$$\Delta\varphi_6=0,042067^\circ=0^\circ 02' 31''$$

Бұл есепте: $7\varphi > 7\varphi'$, демек $6\varphi < 6\varphi'$

Қалған бөліктерінің жуық мәндері, егер $4\Delta\varphi=4(\varphi-\varphi') = 0,15625^\circ$ болса, онда $\Delta\varphi_4=0,03906^\circ=0^\circ 02' 20''$ -ке тең. Демек, $\Delta\varphi_5$ пен $\Delta\varphi_4$ шамалас мәнді болғандықтан, көпбұрыш қабырғаларының ұзындықтарына тұрғызылуына әсер етпейді. Бұл жағдайда: $5\varphi > 5\varphi'$, демек $4\varphi < 4\varphi'$ болады.

Басқа жуық мәнді дұрыс көпбұрыштар да [17(9+8), 19(10+9), 21(11+10) және т.б.] осы әдіспен жеңіл тұрғызылады.

Қорытынды

Бұл зерттеу геометриялық тұрғызулардағы жүйелі қателіктерді еселемеудің инновациялық амалын ұсынады, әсіресе циркуль және сызғышпен тұрғызылатын дұрыс көпбұрыштар үшін берілген амал өте ұтымды болып табылады. Геометриялық прогрессия және итеративті қателіктерді түзету принциптерін біріктіре отырып, зерттеу қателіктердің таралуын тиімді түрде азайтады және қолмен тұрғызуда жоғары дәлдікке қол жеткізеді. Бұл нәтижелер геометрияның теориялық негіздеріне айтарлықтай үлес қосады, сонымен бірге әртүрлі салаларда практикалық қолдануды ұсынады.

Негізгі жетістік болып шеңберлерді бөлуде және әр түрлі қабырғалары бар дұрыс көпбұрыштарды салуда ерекше дәлдікке мүмкіндік беретін дәстүрлі әдістерді жетілдіру үшін геометриялық прогрессияны қолдану табылады. Дәлсіздіктерге әкелуі мүмкін әдеттегі тәсілдерден айырмашылығы, бұл зерттеу негізгі сызба құралдарының көмегімен нақты нәтижелерге қол жеткізу үшін сенімді негіз болып табылады. Ол Әл-Фараби мен Гаусстың іргелі еңбектеріне негізделген, олардың принциптерін тұрақты практикалық міндеттерді шешуде кеңейте түседі. Осындай әдістемелік тәсілдер инженерлік білім беру саласында да математикалық ойлауды дамытуда маңызды рөл атқарады [9].

Авторлардың қосқан үлесі:

И.О. Мульдеков, А.Ж. Куздеубаев, УТ. Қарымсақов – тұжырымдама, әдістеме, мәліметтер жинау.

К.А. Байгутов, Д.Д. Каражанова – талдау, ресурстар, интерпретация.

Әдебиеттер тізімі

1. Аль-Фараби. Математические трактаты. – Алма-Ата: Изд. «Наука» Казахской ССР, 1972. – 321 с.
2. Гаусс, К.Ф. Правильный семнадцатиугольник. <https://tito0107.livejournal.com/832164.html>
3. Курант, Р., Роббинс, Г. Что такое математика? – 3-е изд., испр. и доп. – М.: МЦНМО, 2001. – 568 с.
4. Мөлдеков, И.О., Муратова, Г.И. Әл-Фарабидың математикалық практикасындағы дұрыс көпбұрыштардың тура және кері есептері. – Тараз, 2023. – 41 б.
5. Мазмишвили А.И. Теория ошибок и метод наименьших квадратов. - Москва, Недра, 1978, – 311 с.
6. Benjamin Vaissier, Jean-Philippe Pernot, Laurent Chougrani, Philippe Véron. Lightweight Mesh File Format Using Repetition Pattern Encoding for Additive Manufacturing. Computer-Aided Design. Volume 129, December 2020, 102914. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2020.102914>
7. Griffiths, P., & Harris, J. (2011). Principles of algebraic geometry. Wiley Classics Library. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118032527>
8. Bobenko, A.I., & Suris, Y.B. (2009). Discrete differential geometry: Integrable structure. Graduate Studies in Mathematics, 98. American Mathematical Society. <https://doi.org/10.1090/gsm/098>
9. Alpers, B. (2011). Mathematical thinking and mathematics in engineering. Mathematics in Engineering, Science and Aerospace, 2(1), 9-22. <https://doi.org/10.3934/mesa.2011.2.9>
10. Octavio A. González-Estrada, Sundararajan Natarajan, Juan José Ródenas, Stéphane P.A. Bordas. Error estimation for the polygonal finite element method for smooth and singular linear elasticity. Computers & Mathematics with Applications. Volume 92, 15 June 2021, Pages 109-119. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2021.03.017>

И.О.Мульдеков¹, А.Ж.Куздеубаев^{*2}, К.А.Байгутов³, УТ.Карымсақов², Д.Д.Каражанова²

¹НАО «Таразский государственный университет», Тараз, Казахстан

²ТОО «Международная образовательная корпорация», Алматы, Казахстан

³НАО «Казахский национальный педагогический университет имени Абая», Алматы, Казахстан

**Метод сокращения систематических ошибок при построении правильных
многоугольников**

Аннотация. В исследовании рассматривается проблема некратности систематических ошибок в геометрических построениях правильных многоугольников. Систематические ошибки, возникающие из-за неточности чертежных инструментов, ограничений, возникающих из-за неопытности пользователей, и наличия погрешностей при геометрических построениях, существенно влияют на точность геометрических задач. Это исследование предлагает новый подход, который включает в себя принципы геометрической прогрессии для уменьшения этих

ошибок и не умножать повторяющиеся систематические ошибки, предлагая оптимальное решение указанной проблемы для достижения высокоточных результатов.

Методология, предлагаемая в статье, включает анализ систематических ошибок при построении правильных многоугольников, оптимизацию этапов возведения и аргументированный анализ с помощью ручного рисования. Основные нововведения включают разделение кругов на равные части, обеспечение точности геометрических построений. Анализ, представленный схемой, подтверждает надежность методов, уменьшение отклонений от теоретических значений.

Результаты показывают приближенное значение правильных многоугольников [7(3,4); 9(4,5); 13(6,7)]. Эффективность предлагаемого метода в геометрическом легком возведении выражается путем решения задач. Эти методы универсальны и пересматривают давние проблемы геометрических построений, а также расширяют фундаментальные работы таких математиков, как аль-Фараби и Гаусс.

Ключевые слова: систематические ошибки, достаточная точность, правильные многоугольники, геометрические построения, круги, геометрическая прогрессия, конструктивные задачи.

I.Muldekov¹, A.Kuzdeubayev*², K.Baigutov³, U.Karymsakov², D.Karazhanova²

¹Taraz University, Taraz, Kazakhstan

²International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan

³Kazakh National Pedagogical University named after Abai, Almaty, Kazakhstan

Method of increasing systematic errors in constructing correct polygons

Abstract. The study examines the problem of non-multiplicity of systematic errors in geometric constructions of regular polygons. Systematic errors resulting from the inaccuracy of drawing tools, limitations arising from user inexperience, and the presence of errors in geometric constructions significantly affect the accuracy of geometric tasks. This study suggests a new approach that includes the principles of geometric progression to reduce these errors and avoid multiplying repetitive systematic errors, offering an optimal solution to this problem to achieve highly accurate results.

The methodology proposed in the article includes an analysis of systematic errors in the construction of regular polygons, optimization of the construction stages, and reasoned analysis using manual drawing. The main innovations include dividing circles into equal parts, ensuring the accuracy of geometric constructions. The analysis presented by the scheme confirms the reliability of the methods, reducing deviations from theoretical values.

The results show an approximate value of the regular polygons [7(3,4); 9(4,5); 13(6,7)] The effectiveness of the proposed method in geometric light construction is expressed by solving problems. These methods are universal and redefine long-standing problems of geometric constructions, as well as expand the fundamental work of mathematicians such as Al-Farabi and Gauss.

Keywords: systematic errors, sufficient accuracy, regular polygons, geometric constructions, circles, geometric progression, constructive tasks.

References

1. Al-Farabi. Mathematical treatises. Alma Ata: Publishing house "Science" of the Kazakh SSR, 1972. 321 p.
2. Gauss, K.F. The regular hexagon. <https://tito0107.livejournal.com/832164.html>
3. Courant, R., Robbins, G. What is mathematics? — 3rd ed., ispr. and add. — M.: ICNMO, 2001. — 568 p.
4. Moldekov, I.O., Muratova, G.I. Al-Farabidyn matematikalyk praktikasyndagy durys kopburyshtardyn tura zhane keriyesepteri. – Taraz, 2023. – 41 b.
5. Mazmishvili A.I. Error theory and the least squares method. - Moscow, Nedra, 1978, - 311 p.
6. Benjamin Vaisier, Jean-Philippe Pernod, Laurent Shugrani, Philippe Veron. A simplified Mesh file format using coding of repeating patterns for additive manufacturing. Computer-aided design. Volume 129, December 2020, 102914. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2020.102914>
7. Griffiths P., Harris J. (2011). Principles of algebraic geometry. Wiley Classical Library. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118032527>
8. Bobenko A.I., Suris Yu.B. (2009). Discrete differential geometry: an integrated structure. Graduate School in Mathematics, 98. American Mathematical Society. <https://doi.org/10.1090/gsm/098>
9. Alpers, B. (2011). Mathematical thinking and mathematics in engineering. Mathematics in Engineering, Science and Aerospace, 2 (1), 9-22. <https://doi.org/10.3934/mesa.2011.2.9>
10. Octavio A. Gonzalez-Estrada, Sundararayan Natarayan, Juan Jose Rodenas, Stefan P.A. Bordas. Estimation of the error of the polygonal finite element method for determining smooth and singular linear elasticity. Computers and mathematics with applications. Volume 92, June 15, 2021, pages 109-119. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2021.03.017>

Авторлар туралы мәлімет:

И.О.Мулдеков – М.Х.Дулати атындағы Тараз университеті КеАҚ, техника ғылымдарының докторы, «Музыка және көркем білім» кафедрасының профессоры, Ы.Сүлейменов көшесі, 7, 080012, Тараз. Қазақстан.

А.Ж.Күздеубаев – хат-хабар үшін автор, Халықаралық білім беру корпорациясы ЖШС профессор ассистенті, Қ.Рысқұлбеков көшесі, 28, 050043, Алматы, Қазақстан.

УТ.Қарымсақов – техника ғылымдарының кандидаты, Халықаралық білім беру корпорациясы ЖШС қауымдастырылған профессоры, Қ.Рысқұлбеков көшесі, 28, 050043, Алматы, Қазақстан.

К.А.Байгутов – PhD, Абай атындағы қазақ ұлттық педагогикалық университеті КеАҚ, «Көркем білім» кафедрасының аға оқытушысы, Достық даңғылы, 13, 050010, Алматы, Қазақстан.

Д.Д.Каражанова – педагогика ғылымдарының кандидаты, Халықаралық білім беру корпорациясы ЖШС қауымдастырылған профессоры, Қ.Рысқұлбеков көшесі, 28, 050043, Алматы, Қазақстан.

И.О.Мулдеков – доктор технических наук, профессор кафедры «Музыка и художественное образование», НАО Таразского университета им.М.Х.Дулати, ул. Ы.Сүлейменова, 7, 080012, Тараз. Казахстан.

А.Ж.Күздеубаев – автор для корреспонденции, ассистент профессора ТОО «Международная образовательная корпорация», ул. К. Рысқұлбекова, 28, 050043, Алматы, Казахстан.

У.Т.Қарымсақов – кандидат технических наук, ассоциированный профессор ТОО «Международная образовательная корпорация», ул. К. Рыскулбекова, 28, 050043, Алматы, Казахстан.

К.А.Байгутов – PhD, старший преподаватель кафедры «Художественное образование», НАО «Казахский национальный педагогический университет имени Абая», пр. Достык, 13, 050010, Алматы, Казахстан.

Д.Д.Каражанова – кандидат педагогических наук, ассоциированный профессор ТОО «Международная образовательная корпорация», ул. К. Рыскулбекова, 28, 050043, Алматы, Казахстан.

I.Muldekov – doctor of technical sciences, professor of the department of Music and Art Education, M.H.Dulati Taraz university, Y.Suleimenov str., 7, 080012, Taraz. Kazakhstan.

A.Kuzdeubayev – author of correspondence, assistant professor, International Educational Corporation LLP, K. Ryskulbekov str., 28, 050043, Almaty, Kazakhstan.

U.Karymsakov – candidate of technical sciences, associate professor, International Educational Corporation LLP, K. Ryskulbekov str., 28, 050043, Almaty, Kazakhstan.

K.Baigutov – PhD, senior lecturer, department of Art Education, Abai Kazakh national pedagogical university, Dostyk Ave., 13, 050010, Almaty, Kazakhstan.

D.Karazhanova – candidate of pedagogical sciences, associate professor, International Educational Corporation LLP, K. Ryskulbekov str., 28, 050043, Almaty,



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 73.31.41

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-150-1-87-106>

Article

Studying the effect of the electrolyte-plasma modification on the fatigue strength of the KamAZ-740 crankshaft after overhaul using finite element modeling

I.D. Gridunov¹, K.K. Kombayev, Y.Y. Tabiyeva, A.S. Kizatov

*NJSC D. Serikbayev East Kazakhstan technical university,
Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan*

(E-mail: grid.educ16@mail.ru)

Abstract. During the crankshaft overhaul, a hardened material layer is removed from the journal's surface. The resource and mechanical properties of such an engine have been shown to be considerably reduced when compared to the new one. The study proposes a method of electrolyte-plasma modification of the surface of the repaired journals of the KamAZ-740 crankshaft made of chromium-molybdenum-vanadium steel 42CrMoVA TU 14-1-5083-91 (analog AISI 4140) to restore and improve fatigue strength. The crankshaft was destroyed after overhaul and had a fatigue crack on the surface of the crankpin journal, which was examined. The microstructure revealed the formation of a phase of high-carbon martensite on the surface of the modified sample, as well as inclusions of carbides of alloying elements (Cr, Mo, V), and cementite (Fe_3C). Microhardness analysis of the samples using the Vickers method showed an increase in surface hardness from 356...380 HV (initial structure) to 592...624 HV (after modification). The behavior of the KamAZ-740 crankshaft when exposed to cyclic operating loads was modeled using the finite element method in the ANSYS Mechanical analysis software. The analysis showed that the greatest stresses of 91.673 MPa occur in the bearing fillets of the crankpin journal, and the maximum values of deformation of the neck body reach 11.829 microns. It was found that the ground crankshaft, without surface hardening, has a reduced number of operating cycles up to 163070, but after surface electrolyte-plasma modification, it can operate for an unlimited number of cycles. The method of electrolyte-plasma modification of the surface of the crankshaft journals makes it possible to increase the safety margin by 18... 38%. The results of this study are of practical importance for improving the quality of overhaul of steel crankshafts of diesel and gasoline engines and extending their service life.

Keywords: Crankshaft, electrolyte-plasma modification, fatigue strength, overhaul, engineering analysis.

Received 31.01.2025. Revised 31.01.2025. Accepted 04.03.2025. Available online 31.03.2025

¹the corresponding author

Introduction

Automotive vehicles with an internal combustion engine (ICE) hold a leading position in the transport sector of the Republic of Kazakhstan. It is the most popular mode of transport for freight and passenger transportation. The crankshaft is the main component of an internal combustion engine that drives everything from cars to ships and generators. Its main function is to convert the linear motion of pistons into rotational motion, which drives cars or mechanisms [1]. During operation, the crankshaft is exposed to high alternating loads from the combined action of gas pressure forces on the piston and inertia forces of reciprocating masses. As a result, mechanical vibrations (torsional and bending) occur. In addition, vibrations that occur during engine operation, as well as high temperatures, which are similarly variable, harm the crankshaft. Engine oil, fuel pollution, and combustion products create a corrosive environment in the engine, which degrades the surface quality and the integrity of the crankshaft [2]. All these processes increase the wear of the crankshaft and create conditions for the formation of fatigue cracks on the working surfaces. The manufacturer usually designs a new crankshaft with a safety margin that ensures its uninterrupted operation until the first overhaul of the internal combustion engine, if the conditions for proper operation are met.

The specified service life of the KAMAZ-740 engine before the overhaul of the main units is: category I – at least 500,000 km, category II – at least 450,000 km, category III – at least 400,000 km, category IV – at least 350,000 km, category V – at least 300,000 km [3]. The cost of the overhaul increases significantly if the crankshaft is replaced with a new one, especially for large diesel engines. For this reason, the worn-out crankshaft is repaired by grinding the crankpin and main journal to the repair size. During the grinding process, the surface hardened layer of the material is removed, which reduces its strength properties and resistance to loads [4]. After such repairs, the operating time of the crankshaft is significantly reduced. The study of the causes of crankshaft failure, as well as the improvement of technology and quality of repair, to restore and increase performance, is relevant these days.

The subject of the study is the mechanical properties of the crankshaft of the KamAZ-740 diesel engine. The design of the KamAZ-740 crankshaft is shown in Figure 1. The main elements of the crankshaft are: main bearing journals 1, crankpin journals 2, bearing fillets 3, webs 4, counterweights 5, flywheel flange 6, and pulley end 7.

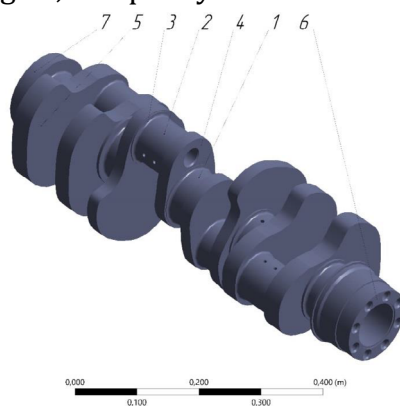


Figure 1. Crankshaft of KamAZ-740

N. Nikolić, N. Tadić, and J. Dorić [5] analyzed the failures of crankshafts and found that most of them are formed in the main and crankpin journals, which operate under high variable torsion and bending loads. These failures have a fatigued character. Aleksandar Vencl and Aleksandar Rac [6] studying the tribological process during friction of crankshaft journals and bearing liners during the operation of diesel engines, and found that the main and most significant types of wear are abrasive, adhesive, and surface fatigue wear. In addition to loads, other factors affect the resistance of a part to fatigue wear. D. Arola and S.L. Williams [7] in their study indicate that the roughness and integrity of the surface formed during the mechanical processing of the material significantly affect the process of fatigue failure. Dimensional details are also of great importance. Large-sized crankshafts have low and variable stiffness and, as a result, high susceptibility to bending deformations [8]. V.P. Lyalyakin & D.B. Slinko [9] have shown that the main journals wear out more intensively than the crankpin journals. The authors also claim that increasing the hardness of the journal surface improves wear resistance. Shuailun Zhu and others [10] claim that abrasive wear of crankshaft journals occurs due to the ingress and accumulation of polluting particles of fine debris and migration of carbonaceous elements from lubricants to the contact surface between the journal and the bearing liner under the influence of friction and elevated temperatures. These accumulated particles also cause uneven stress distribution on the surface, increasing fatigue wear of the crankshaft neck. Park H., Ko Y., and Jung, S. [11] found that the fatigue strength of the surface of the crankshaft journals can be increased by nitriding by more than 60%. Yasutoshi Tominaga and others [12] investigated the effect of ultrasonic modification by nanocrystals on the surface of the crankshaft necks on its operational properties. The results of the study showed that the fatigue strength increased by 30%, the coefficient of friction decreased by 24%, and wear decreased by 85% after modification. Boris Tarasenko and others [13] used carbide powder and a soft base of copper-zinc alloy as a coating on the surface of the crankshaft journals to increase the reliability and durability of power plants.

After analyzing the experience of previous researchers, it was found that research in this area is not sufficient, because they have not fully identified and accurately determined the main factors influencing the increase in fatigue strength. They also did not offer a comprehensive technology that would simultaneously meet the requirements: the level of fatigue strength, economic efficiency, and manufacturability of crankshaft hardening methods.

Electrolyte-plasma modification (EPM) opens up great opportunities for repairing and improving crankshaft performance, offering a new approach to solving problems such as wear, fatigue, and surface damage. This innovative technology uses a combination of electrochemical and plasma processes to change the surface properties of metal components, including crankshafts, and improve their performance, strength, and durability [14]. EPM can also cause compressive residual stresses in the surface layers of the crankshaft, effectively slowing down the initiation and spread of cracks and increasing the fatigue strength and resistance of the part to mechanical damage [15]. EPM can effectively harden the surface of crankshafts, increasing their resistance to wear and fatigue. If the crankshaft is exposed to a controlled plasma discharge in an electrolytic solution, it is possible to modify the surface layers with alloying elements or transform them into hardened phases, which increases the strength of the part and extends its service life [16]. EPM can change the surface topography and chemical composition of these critical areas, creating a protective layer that reduces friction, minimizes wear, and improves lubricant retention. These factors increase the efficiency and reliability of the crankshaft [17].

The methodology

Samples were cut and prepared (Fig.2) from the journals of the KamAZ-740 crankshaft made of steel 42CrMoVA TU 14-1-5083-91 (analog AISI 4140) to study the mechanical properties. It is a type of alloy steel that has high strength, toughness, and excellent hardenability. This steel belongs to the group of chromium-molybdenum-vanadium steels and is often used in areas requiring high mechanical properties and resistance to wear and fatigue [18].

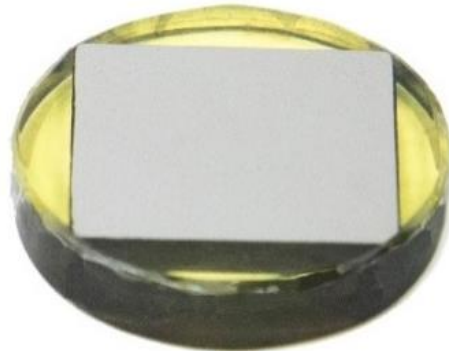


Figure 2. Crankshaft sample made of 42CrMoVA Steel TU 14-1-5083-91 (analog AISI 4140)

Chemical composition of steel 42CrMoVA TU 14-1-5083-91 (analog AISI 4140): (0,40 – 0,45)% C; (1,00-1,30)% Cr; (0,50 – 0,80)% Mn; (0,35 – 0,45)% Mo; (0,08 – 0,12)% V; (0,17 – 0,37)% Si; $\leq 0,3\%$ Ni; (0,007 – 0,025)% S; $\leq 0,025\%$ P; $\leq 0,3\%$ Cu; Fe – Rest.

The mechanical properties of heat-treated (quenching and tempering) steel 42CrMoVA TU 14-1-5083-91 (analog AISI 4140) are shown in Table 1.

Table 1. The mechanical properties of steel 42CrMoVA TU 14-1-5083-91 (analog AISI 4140)

The mechanical properties							
σ_B	σ_T	δ	Ψ	KCU	HB	σ_{-1}	τ_{-1}
835	716	12	42	78,4	255-277	389	233
σ_B – Tensile strength, [MPa]; σ_T – Yield strength, [MPa]; δ – Relative elongation, [%]; Ψ – Relative narrowing, [%]; KCU – Impact strength, [J / cm ²]; HB – Brinell hardness, [MPa]; σ_{-1} – Endurance limit for a symmetrical cycle of normal stresses, [MPa]; τ_{-1} – Endurance limit for a symmetrical tangential stress cycle, [MPa].							

The surfaces of the samples have been modified by the electrolytic plasma method. The surfaces of the samples were modified by the electrolytic plasma method. In the modification process, the sample surface mounted on a bracket and placed in an electrolyte bath from a 10% solution of soda ash (Na₂CO₃) was heated by electric discharges of the resulting plasma. In this

case, carbon is mass-transferred to the treated surface and cemented [19]. The electrolyte was constantly circulated using a centrifugal pump to maintain an optimal temperature. The design had a nozzle through which the electrolyte enters the surface of the workpiece, and an anode plate made of stainless steel 12Cr18Ni10Ti GOST 5949-2018, connected to a positive potential. The processed product was connected to a negative potential. The EPM process was performed cyclically [20]. The first cycle (4 seconds) is heating the part's surface to the temperature of the phase transformation of ferrite into austenite, equal to approximately 860°C. Next, a cooling cycle took place for 4 seconds in the electrolyte stream and quenching. These cycles were repeated 30 times. The total processing time was 4 minutes.

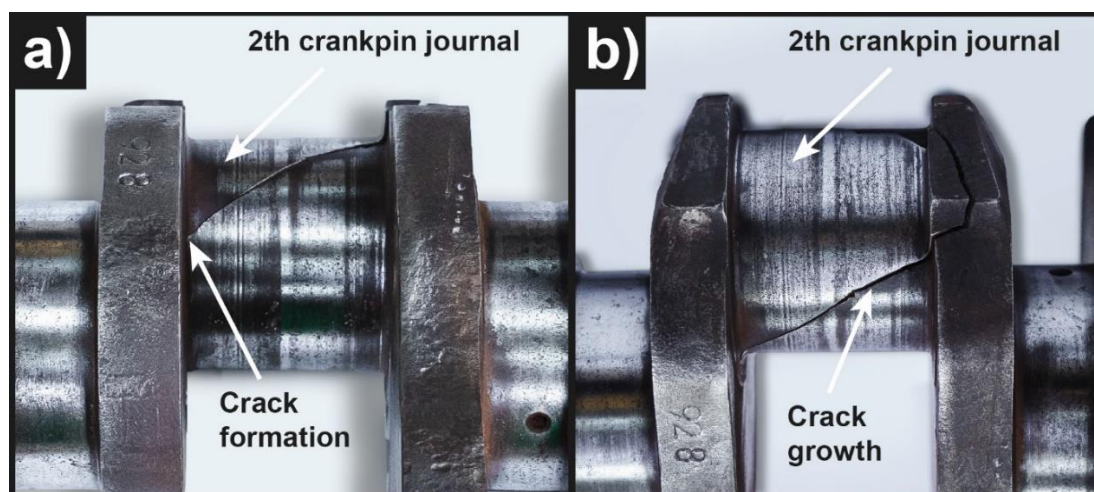
The microstructure of the samples before and after modification was examined using an Olympus BX51 optical microscope, which allows detailed observation and analysis of changes in the surface structure. The microhardness was measured on a DuraScan 20 hardness tester using the Vickers method, which provides high accuracy.

Experimental research and mechanical tests were carried out at the “Smart Engineering” laboratory and the “Mechanical Engineering” scientific and production complex of the NJSC “D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University”.

The hardening process and its effect on fatigue strength were modeled using the finite element method in the ANSYS Mechanical automated engineering analysis software package.

Findings/Discussion

The investigated crankshaft of the KamAZ-740 engine had a developed fatigue crack (Fig. 3) extending from the surface deep into the material. The initial crack formation zone was localized in the bearing fillet region of the second connecting journal, where maximum stress concentrations were observed. The fatigue crack developed gradually, spreading from the stress concentration zone to the main body of the shaft and further to the nearest web. The fracture occurred after the crack length reached a critical value and the load-bearing capacity of the structure was disrupted.



**Figure 3. Fatigue crack of the KamAZ-740 crankshaft
a – the beginning of cracking; b – crack development**

During the study, the microstructure and microhardness of the crankshaft samples were studied before processing (Fig.4a) and after the electrolyte-plasma modification (Fig.4b). It was found that in the initial state, the microstructure of the material consisted of a finely dispersed mixture of ferrite and carbides phases, as well as small sections of perlite. This is typical for the structure of alloy steel subjected to quenching and high tempering. No martensite phases, inclusions of CrN, FeN, VN nitrides, iron, and nitrogen compounds such as the ϵ -phase (Fe_2N_3) and γ' -phase (Fe_4N) characteristic after nitriding were found near the surface. This indicates that when the crankshaft was ground to the repair size, the surface hardened layer was completely removed. After treatment by the method of electrolyte-plasma modification, the formation of high-carbon martensite from carbon-supersaturated austenite was observed in the structure of the material [21]. Finely dispersed carbides of alloying elements (Cr, Mo, V) and cementite (Fe_3C) were also found.

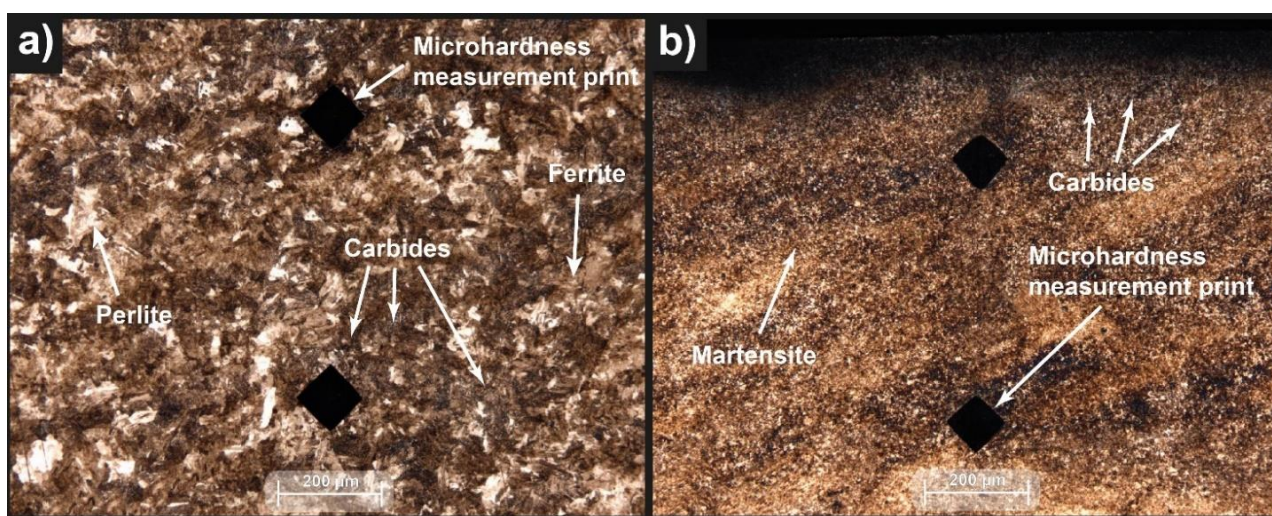


Figure 4. Microstructure of 42CrMoVA Steel
a – initial sample; b – after EPM

Measurements of the microhardness of the surface of the samples showed an increase in values after electrolyte-plasma modification from 356...380 HV (Fig.5a) to 592...624 HV (Fig.5b). This has a positive effect on the strength characteristics of the material. As noted earlier, the high hardness due to the fine structure of martensite contributes to a significant increase in the fatigue strength of the material due to resistance to the development of microcracks [22]. Fine-dispersed martensite ensures uniform distribution of internal stresses, which reduces local load concentrations and increases the durability of the part.

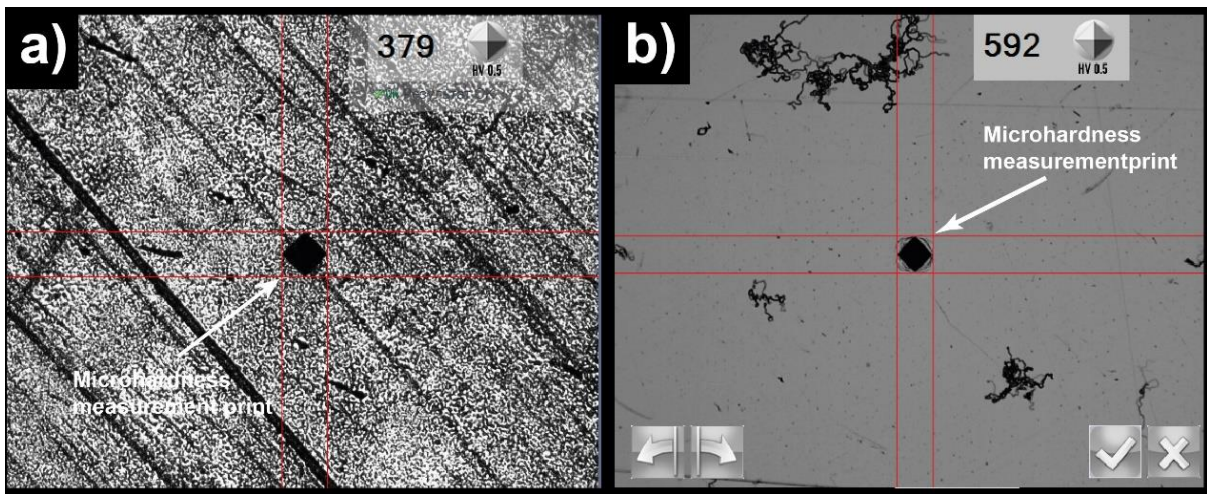


Figure 5. Measurements of surface microhardness: a – initial sample; b – after EPM

To simulate the behavior of the material under cyclic loading of the KamAZ-740 crankshaft and identify areas prone to fatigue cracks, fatigue strength was calculated using the finite element method by the ANSYS Mechanical automated engineering analysis software package with the ANSYS Structural Fatigue module. This module allows you to evaluate fatigue life, damage caused by fatigue load, safety factors, and variable stresses [23]. During the fatigue analysis, the most severe modes of operation of the internal combustion engine were taken as design modes. Figure 6 shows a graph of changes in the specific forces (in MPa) of inertia P'_j and gas pressure P'_g depending on the angle φ of rotation of the crankshaft in the maximum torque mode. The total value of the specific forces of gas pressure and inertia is their algebraic sum:

$$P_s = P_g + P_j \quad (1)$$

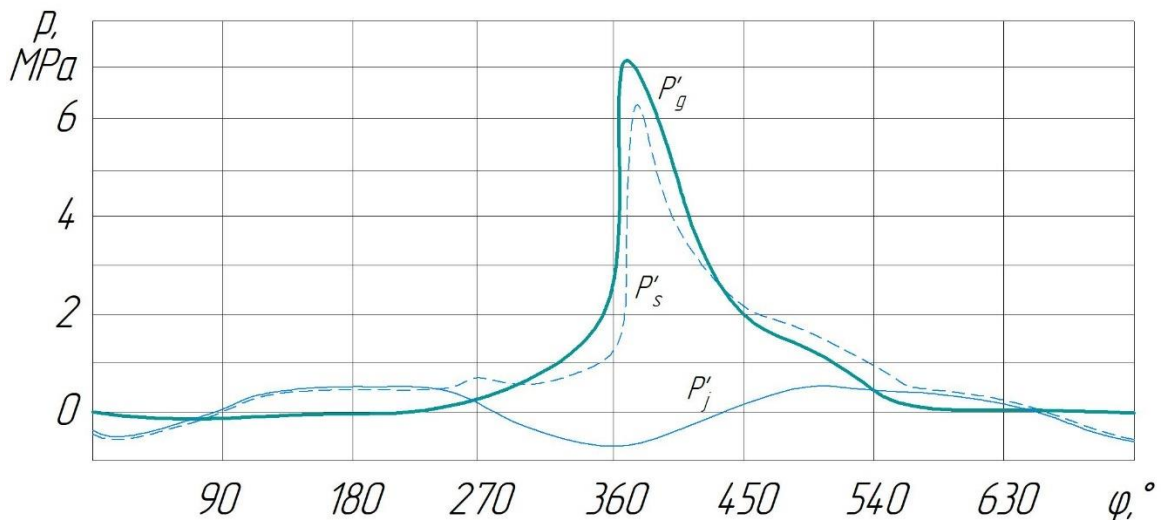


Figure 6. Graphs of the specific forces of the reciprocating internal combustion engine $P_s = P_g + P_j$ by the angle of rotation of the crankshaft in the maximum torque mode

In most cases, all of these loads do not cause critical elastic and plastic deformations of the crankshaft material, and the resulting stresses are significantly lower than the yield strength. Nevertheless, all these loads are alternating in nature and cause fatigue failure of the part. As noted earlier, the fatigue strength of the material is affected by the following factors: the design and dimensions of the part, the nature of the loads, surface roughness after machining, surface hardening, and corrosion resistance. All these parameters are determined by the coefficient of reduction of the endurance limit K [24, 25], which is taken into account when calculating fatigue strength. In turn, ANSYS Mechanical uses the fatigue strength factor K_f , which has an inverse relationship with K :

$$K_f = \frac{1}{K} \tag{2}$$

During operation, the crankshaft experiences the combined effect of tension compression, bending, and cyclic torque loads. In the case of tension compression, or bending, K is determined by the following formula:

$$K = \left(\frac{K_\sigma}{K_{d\sigma}} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_v \cdot K_A} \tag{3}$$

K during torsion:

$$K = \left(\frac{K_\tau}{K_{d\tau}} + \frac{1}{K_{F\tau}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_v \cdot K_A} \tag{4}$$

where K_σ, K_τ are the effective stress concentration coefficients (take into account the design parameters and dimensions of the crankshaft): $K_{\sigma t}$ – during tension compression, $K_{\sigma b}$ – during bending, K_τ – during torsion;

$K_{F\sigma}, K_{F\tau}$ are the surface roughness coefficients (roughness of crankshaft journals after grinding Ra0,32 (Rz1,6)): $K_{F\sigma}$ – during tension compression, bending, $K_{F\tau}$ – during torsion;

K_v are the coefficient of surface treatment;

K_A are the anisotropy coefficient.

The anisotropy coefficient is $K_A = 1$, because the KamAZ-740 crankshaft workpiece is obtained by forging and the material has a uniform structure in all directions.

The coefficient of surface treatment K_v is determined experimentally. For surface cementation, K_v is in the range from 1.2 to 2.0, without surface treatment, K_v equal to 1. To determine the effect of cementation by the electrolyte-plasma modification on the fatigue strength of the crankshaft, the conditions were modeled at surface treatment coefficients K_v equal to 1.0, 1.2, 1.6 and 2.0.

The obtained values of the coefficients associated with K are shown in Table 2, the coefficients K_f in Table 3.

Table 2. Coefficients K

Coefficients	$K_{\sigma t}$	$K_{\sigma b}$	K_τ	$K_{d\sigma}$	$K_{d\tau}$	$K_{F\sigma}$	$K_{F\tau}$	K_v	K_A
Value	1,574	1,571	1,404	0,823	0,760	0,972	0,984	1.0...2.0	1

Table 3. Coefficients K_f

Sample	Value K_f		
	Tension compression	Bending	Torsion
Initial	0,515	0,516	0,533
Modified $K_v=1.2$	0,618	0,619	0,640
Modified $K_v=1.6$	0,824	0,826	0,853
Modified $K_v=2.0$	1,030	1,032	1,066

At the first stage of the fatigue strength calculations in ANSYS Mechanical, the loading parameters were set. Cyclic loads during crankshaft operation are asymmetrical. Figure 7a shows the constant loading amplitude of the KamAZ-740 crankshaft. For forged parts made of high-quality alloy steel, the most acceptable theory of medium stress correction is the Soderbergh theory (Fig. 7b).

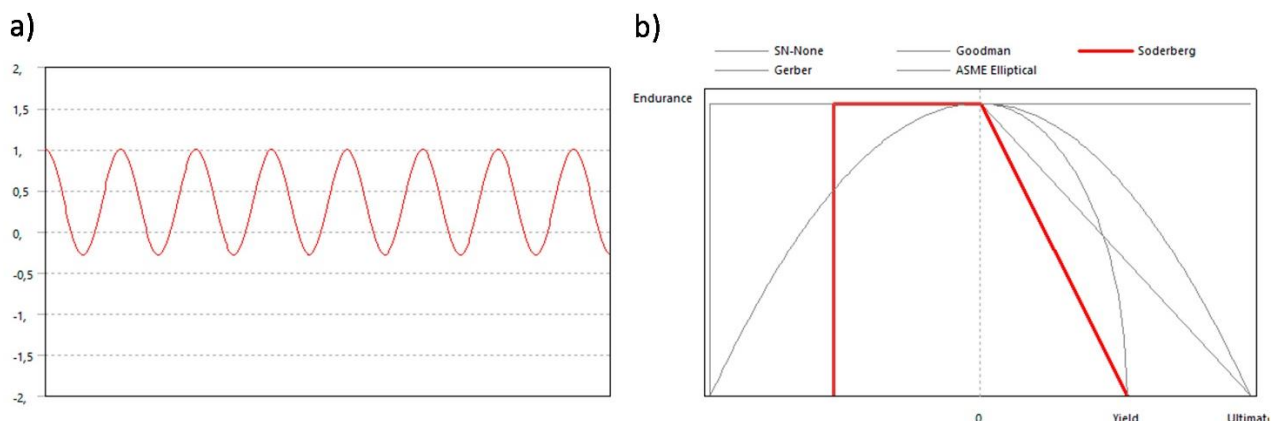


Figure 7. Load parameters of the KamAZ-740 crankshaft
a – constant loading amplitude of the crankshaft; b – Soderberg curve

Figure 8a shows equivalent (according to Von Mises) stresses that occur in the crankshaft when exposed to loads. Places of significant stress are marked in red: in the bearing fillets around the crankshaft, near the main and crankpin journal. The maximum stress is 91.673 MPa in the bearing fillet area. The complete deformations under loading are shown in Figure 8b. The maximum deformation of the crankshaft occurs in the area of the center of the connecting crankpin journal by 11.829 microns. The biaxial index is defined as the ratio of the lower main strength to the higher main strength, while the main strength close to zero is ignored. A value of 0 indicates a uniaxial strength. A value of -1 means a pure shift and a value of 1 corresponds to a purely biaxial state. Figure 8c shows a graph of the biaxial indication for the 42CrMoVA material of the KamAZ-740 crankshaft.

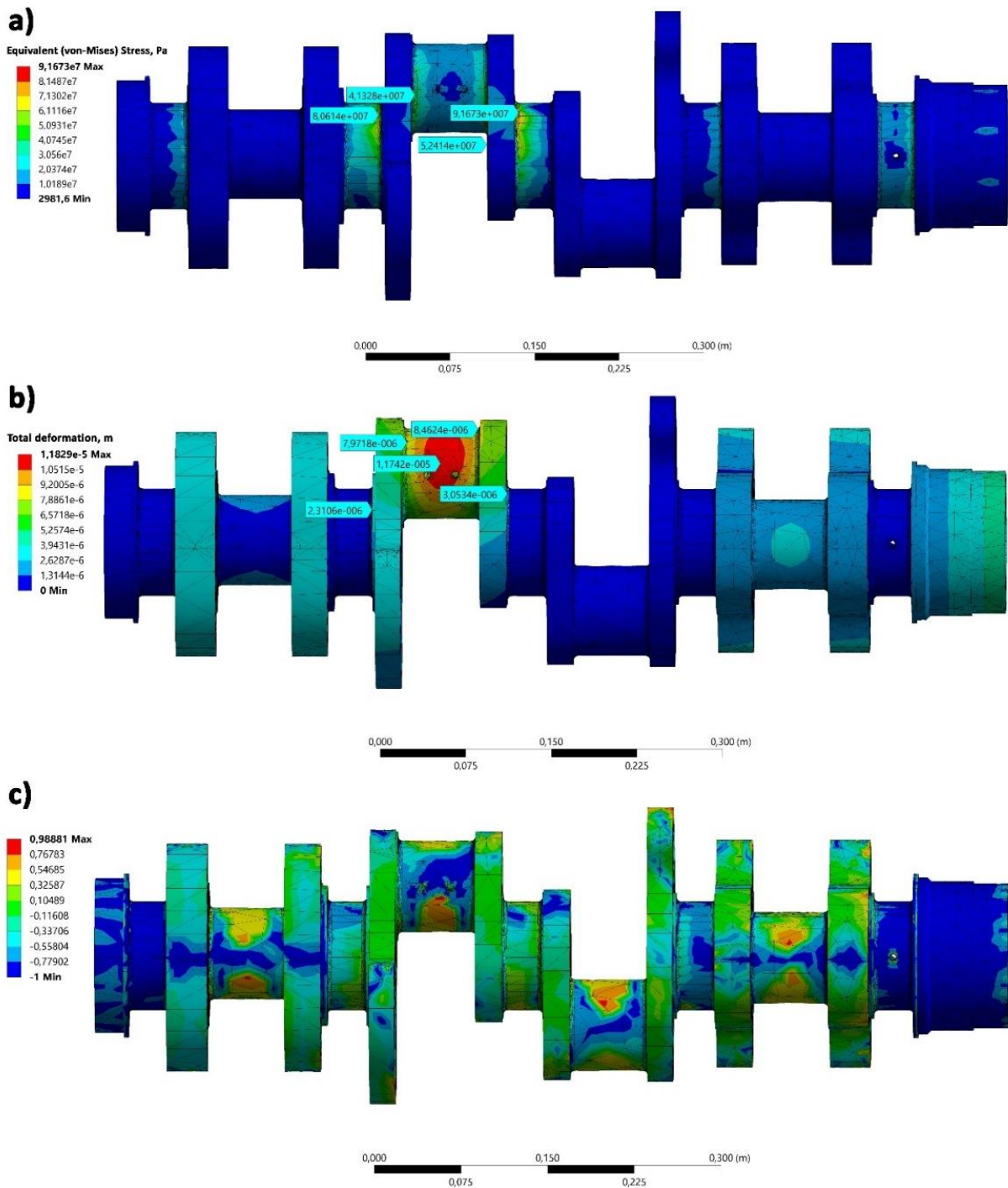


Figure 8. Stresses in the material of the KamAZ-740 crankshaft
 a – Equivalent stresses according to Von Mises, b – complete deformations, c – biaxial stresses

Figure 9 shows the results of modeling the number of available cycles of the crankshaft, with calculated variable loads. In Figures 9a ($K_v=1$) and 9b ($K_v=1.2$) it can be observed that there are areas with reduced available cycles on the crankpin journal bearing fillets (min 163070

and 445350 cycles, respectively). This fact indicates that in these places, upon reaching the set values, a fatigue crack will form and the crankshaft will begin to collapse. At $K_v=1.6$ и 2.0 (Fig. 9c), the entire area of the part satisfies the fatigue strength condition. This means that the crankshaft can continue to operate indefinitely.

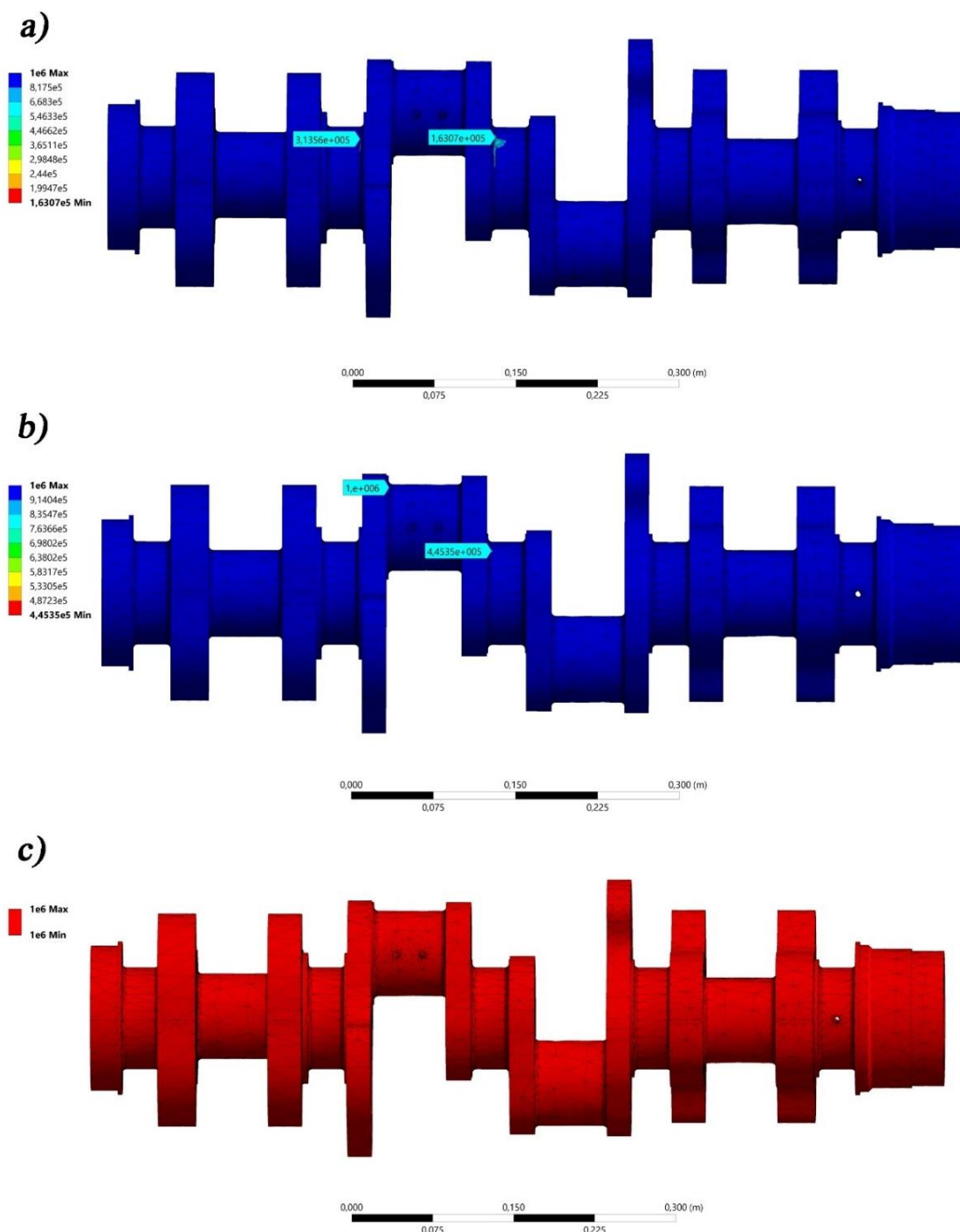
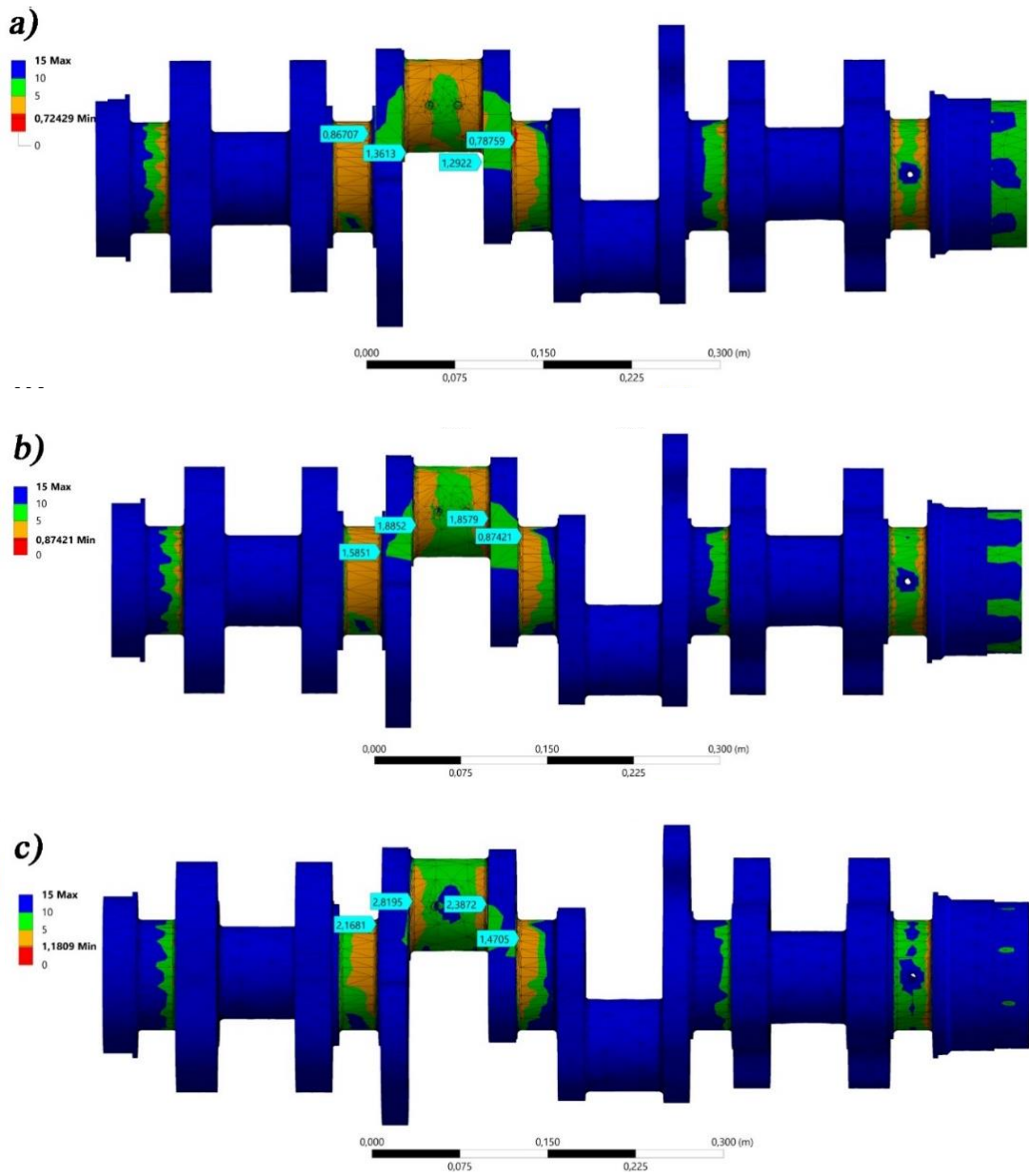


Figure 9. The number of available cycles of the KamAZ-740 crankshaft before fatigue failure
a – with the $K_v=1.0$; b – with the $K_v=1.2$; c – with the $K_v=1.6$ и 2.0 ;

It is also important to determine the fatigue strength safety factor of the KamAZ-740 crankshaft material during fatigue calculation. The minimum safety factor (Fig.10 a,b) of fatigue strength is observed at the bearing fillets and reaches values less than one, which indicates insufficient fatigue strength of the part under specified operating conditions. The value of the safety factor greater than 1 (Fig.10 c,d) indicates the available margin of fatigue strength, which makes it possible to compensate for inaccuracies in the manufacture and processing of the crankshaft, specified operating conditions, and other factors.



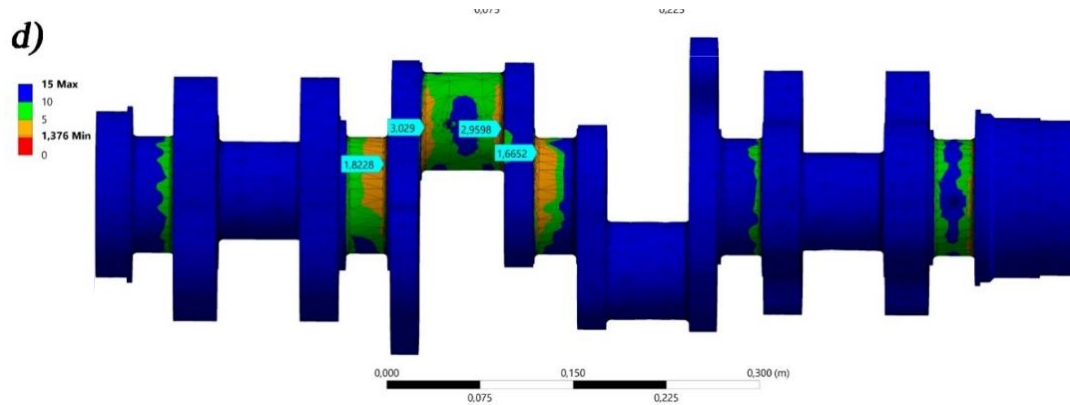


Figure 10. Fatigue strength safety factors
 a - with the $K_v=1.0$; b - with the $K_v=1.2$; c - with the $K_v=1.6$; d - with the $K_v=2.0$;

After analyzing the results calculations for fatigue strength using the finite element method by the ANSYS Mechanical, a fatigue sensitivity diagram was constructed (Fig. 11). In this diagram, you can observe differences in the values of the number of available cycles of loading the KamAZ-740 crankshaft. At $K_v=1$ (surface without treatment), correct operation of the crankshaft is ensured at a load not exceeding 72% of the maximum, at $K_v=1.2$ the load should not exceed 87% of the maximum. With coefficients $K_v=1.6$ and 2.0 , its correct operation is guaranteed at maximum calculated fatigue loads and has a margin of 18% and 38%, respectively.

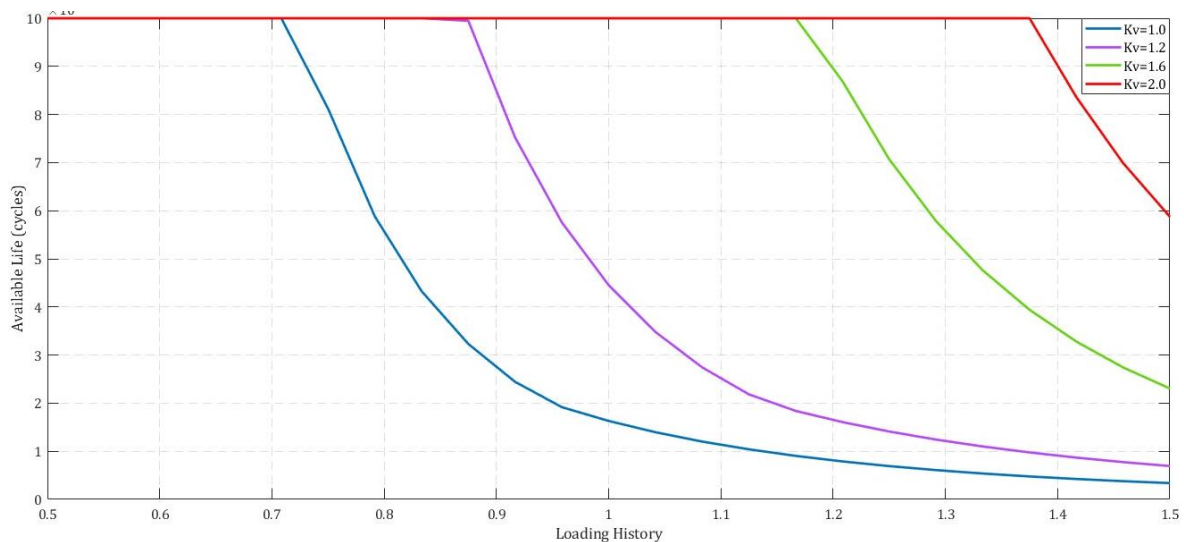


Figure 11. Fatigue sensitivity diagram

Conclusion

The effect of electrolyte-plasma modification on the fatigue properties of the KamAZ-740 crankshaft made of high-quality chromium-molybdenum-vanadium steel 42CrMoVA TU 14-1-

5083-91 (analog AISI 4140) was investigated. Samples were made and modified for experimental work. Changes in the microstructure of the samples after EPM were recorded. The results showed the presence of a quenching structure of high-carbon martensite on the surface of the modified samples, as well as inclusions of carbides of alloying elements (Cr, Mo, V) and cementite (Fe₃C). The microhardness study showed a 64% increase in HV values after treatment. The simulation of cyclic loading by the finite element method in the ANSYS Mechanical system showed that the strength characteristics of the KamAZ-740 crankshaft without surface heat treatment do not meet the specified requirements and ensure correct operation only at loads not exceeding 72% of the maximum. The method of electrolyte-plasma modification of the surface of the crankshaft journals allows for a margin of safety in the range of 18% and 38%. The study showed that the electrolyte-plasma modification has a positive effect on the service life of the KamAZ-740 crankshaft after overhaul, significantly increasing its durability and reliability.

Acknowledgment, conflict of interests

This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (IRN: BR24992854 Development and implementation of competitive science-based technologies to ensure sustainable development of mining and metallurgy industry East Kazakhstan region)

The contribution of the authors.

I.D. Gridunov – significant contribution to the concept and design of the work, methodology, resources, data collection, writing a text, modeling, visualization, interpretation of results, and editing.

K.K. Kombayev – methodology, resources, interpretation of results, critical review, approval of the final version.

Y. Y. Tabiyeva – analysis, writing a text, and resources.

A.S. Kizatov – analysis, writing a text, and resources.

References

1. E. Zadorozhnaya, I. Levanov, V. Erkin. Assessing Resource of Internal Combustion Engine Crankshaft Bearing in Consideration of Transient Regime. *Procedia Engineering* 206 (2017) 734-738. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.545>
2. Voznitsky I.V. Damages and breakdowns of diesel engines. Examples and analysis of causes. Second edition, revised - St. Petersburg, 2006;
3. UAC «KAMAZ» Operation, Maintenance and Repair Manuals, KAMAZ Engines, Naberezhnye Chelny, 2002, 247 p.;
4. Huang, H., Qian, Z., Liu, Z. (2021). Evaluation of the Repair Quality of Remanufactured Crankshafts. In: *Metal Magnetic Memory Technique and Its Applications in Remanufacturing*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-1590-0_13
5. N. Nikolić, N. Tadić and J. Dorić. Influence of IC engine crankshaft main journals lengths on main bearings load. *International Conference on Innovative Technologies, IN-TECH 2017, Ljubljana, 11. - 13. 9. 2017.*

6. Aleksandar Vencl, Aleksandar Rac. Diesel engine crankshaft journal bearings failures: Case study. *Engineering Failure Analysis* 44 (2014), 217-228. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2014.05.014>
7. D. Arola, C.L. Williams. Estimating the fatigue stress concentration factor of machined surfaces. *International Journal of Fatigue* 24(9) 923-930, 2002 [https://doi.org/10.1016/S0142-1123\(02\)00012-9](https://doi.org/10.1016/S0142-1123(02)00012-9)
8. Nozdrzykowski, K.; Grządziel, Z.; Grzejda, R.; Stepień, M. Determination of Geometrical Deviations of Large-Size Crankshafts with Limited Detection Possibilities Resulting from the Assumed Measuring Conditions. *Energies* 2023, 16, 4463. <https://doi.org/10.3390/en16114463>
9. Lyalyakin, V.P., Slinko, D.B. Wear Resistance and Surface Hardness of Diesel Crankshaft Journals. *Russ. Engin. Res.* 44, 1412–1415 (2024). <https://doi.org/10.3103/S1068798X24702502>
10. Shuailun Zhu, Wei Yuan, Jianchen Cong, Qianjian Guo, Baotao Chi, Jie Yu. Analysis of regional wear failure of crankshaft pair of heavy duty engine. *Engineering Failure Analysis* 154 (2023) 107635. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107635>
11. Park, H., Ko, Y., and Jung, S., "Fatigue Life Analysis of Crankshaft at Various Surface Treatments," SAE Technical Paper 2001-01-3374, 2001, <https://doi.org/10.4271/2001-01-3374>
12. Tominaga, Y., Kim, J., Pyun, Y. et al. A study on the restoration method of friction, wear and fatigue performance of remanufactured crankshaft. *J Mech Sci Technol* 27, 3047–3051 (2013). <https://doi.org/10.1007/s12206-013-0824-1>
13. Boris Tarasenko1*, Abdul-Mudalif Dzasheev2, Viktor Markov3, Ramil Zagidullin4, Stanislav Akhmetshin4 and Adel Yakushev. Method for repairing steel crankshaft joints. II International Conference on Environmental Technologies and Engineering for Sustainable Development. 443 (2023) 04005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344304005>
14. A. Yu. Korolyov, V. A. Tomilo, V. S. Niss. Energy characteristics of the vapor-gas shell formation stage during electrolyte-plasma treatment. *Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus* 68(4) 344-352, 2024. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2024-68-4-344-352>
15. Pogrebnyak, A.D., Kaverina A.S., Kylyshkanov M.K. Electrolytic plasma processing for plating coatings and treating metals and alloys. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces* 2014, 50, 72-87, <https://doi.org/10.1134/S2070205114010092>.
16. K.K. Kombayev, L.I.Kveglis, S.E. Sandybay, A.T. Shokputova. Technology of electrolytium-plasma treatment of aluminum alloys // *Journal "Scientific Israel- Technological Advantages" MATERIALS ENGINEERING & NEW TECHNOLOGIES* Vol.20, № 1, 2018, p. 46-52.
17. I.D. Gridunov, D.S. Yelemanov, A.B. Kasenova, K.K. Kombayev, Electrolyte-plasma surface treatment of 42XMFA (similar material aisi 4140) structural alloy steel, used for the manufacture of crankshafts of kamaz-740 engines, *Bulletin D. Serikbayev of EKTU, Transport №3, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, 2022.* https://doi.org/10.51885/1561-4212_2022_3_75
18. Hawryluk, M.; Lachowicz, M.; Łukaszek-Sołek, A.; Lisiecki, Ł.; Ficak, G.; Cygan, P. Structural Features of Fatigue Crack Propagation of a Forging Die Made of Chromium–Molybdenum–Vanadium Tool Steel on Its Durability. *Materials* 2023, 16, 4223. <https://doi.org/10.3390/ma16124223>
19. K. Kombayev, F. Khoshnaw, G. Uazyrkhanova, G. Moldabayeva, Experimental and Mathematical Modelling Investigation of Plasma Electrolytic Oxidation (PEO) for Surface Hardening of 20Ch Steel. *Materials*, 17, 2024, 6043. <https://doi.org/10.3390/ma17246043>
20. Kuat Kombayev, Alina Kim, Daniyar Yelemanov, Gulden Sypainova, Strengthening of Low-Carbon Alloy Steel by Electrolytic-Plasma Hardening, *International Review of Mechanical Engineering (I.RE.M.E.)*, Vol. 16, N. 2, February 2022 (ISSN 1970-8734) <https://doi.org/10.15866/ireme.v16i2.21712>

21. L.G. Sulyubayeva, B.K. Rakhadilov, N.E. Berdimuratov, Z.A. Satbaeva. Research of the current state and technological opportunities of electrolyte-plasma chemical heat treatment of steels. NNC RK Bulletin No 3 (2023). <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2023-3-182-191>

22. Erding Wen, Renbo Song and Wenming Xiong. Effect of Tempering Temperature on Microstructures and Wear Behavior of a 500 HB Grade Wear-Resistant Steel, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI) – Metals 2019,9,45. <http://doi.org/10.3390/met9010045>

23. Suresh Mysamy and Neelakrishnan Subramanyan. Fatigue failure prediction through factor of safety and stress concentration in a malfunctioned AISI 4140 automotive crankshaft. Materials Research Express, 10 (12) 2023 126516. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ad164c>

И.Д. Гридунов, К.К. Қомбаев, Е.Е. Табиева, А.С. Қизатов

Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті»

Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Өскемен, Қазақстан

Күрделі жөндеуден кейін КамАЗ-740 иінді білігінің шаршау беріктігіне соңғы элементтерді модельдеуді қолдана отырып, электролит-плазмалық модификацияның әсерін зерттеу

Аңдатпа. Иінді білікті күрделі жөндеу кезінде мойынның бетінен материалдың қатайтылған қабаты алынып тасталады. Мұндай қозғалтқыштың ресурсы мен механикалық қасиеттері жаңасымен салыстырғанда айтарлықтай төмендейді. Зерттеу шаршау беріктігін қалпына келтіру және жақсарту мақсатында 42ХМФА ТУ14-1-5083-91 (AISI 4140 аналогы) хромдымолибдендіванадий болатынан жасалған КамАЗ-740 иінді білігінің жөнделген мойын бетін электролиттік-плазмалық модификациялау әдісін ұсынады. Күрделі жөндеуден кейін бұзылған КамАЗ-740 дизельді қозғалтқышының мойын бетінде шаршау жарықшасы бар иінді білігі зерттелді. Микроқұрылымды зерттеу өңделген үлгінің бетінде жоғары көміртекті мартенсит фазасының түзілуін, сондай-ақ легирлеуші элементтер карбидтерінің (Cr, Mo, V) және цементиттің (Fe_3C) қосындыларын анықтады. Виккерс әдісімен үлгілердің микроқаттылығын талдау бетінің қаттылығының 356...380 HV (бастапқы құрылым) мәндерінен 592 ... 624 HV (модификациядан кейін) дейін жоғарылағанын көрсетті. ANSYS Mechanical бағдарламалық кешеніндегі соңғы элементтер әдісімен КамАЗ-740 иінді білігінің жұмыстық циклдік жүктемелерге ұшыраған кездегі әрекеті модельденді. Талдау көрсеткендей, ең жоғары кернеулер 91,673 МПа байланыстырушы өзек галтельдерінде пайда болады, ал мойын денесінің деформациясының максималды мәні 11,829 мкм-ге жетеді. Тегістелген иінді білік, кейіннен беттік қатайтусыз, жұмыс циклдерінің саны 163070-ке дейін төмендегені анықталды, бірақ беттік электролиттік-плазмалық модификациядан кейін шексіз циклдар бойы жұмыс істей алады. Иінді біліктің мойын бетін электролиттік-плазмалық модификациялау әдісі оның қауіпсіздік шегін 18...38%-ға арттыруға мүмкіндік береді. Осы зерттеудің нәтижелері дизельді және бензинді қозғалтқыштардың болат иінді біліктерін күрделі жөндеу сапасын арттыру және олардың қызмет ету мерзімін ұлғайту үшін практикалық маңызы бар.

Түйін сөздер: иінді білік, электролиттік плазмалық модификация, шаршау беріктігі, күрделі жөндеу, инженерлік талдау.

И.Д. Гридунов, К.К. Комбаев, Е.Е. Табиева, А.С. Кизатов

Некоммерческое Акционерное Общество Восточно-Казахстанский Технический Университет им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан

Исследование влияния электролитно-плазменной модификации на усталостную прочность коленчатого вала КамАЗ-740 после капитального ремонта с применением моделирования методом конечных элементов

Аннотация. При капитальном ремонте коленчатого вала, с поверхности шеек снимается упрочненный слой материала. Ресурс и механические свойства такого двигателя значительно снижены по сравнению с новым. В исследовании предлагается метод электролитно-плазменной модификации поверхности отремонтированных шеек коленчатого вала КамАЗ-740, изготовленного из хромомолибденованадиевой стали 42ХМФА ТУ 14-1-5083-91 (аналог AISI 4140), с целью восстановления и улучшения усталостной прочности. Был исследован, разрушенный после капитального ремонта коленчатый вал дизельного двигателя КамАЗ-740, имеющий на поверхности шатунной шейки усталостную трещину. При исследовании микроструктуры было выявлено образование фазы высокоуглеродистого мартенсита на поверхности обработанного образца, а также включений карбидов легирующих элементов (Cr, Mo, V) и цементита (Fe_3C). Анализ микротвердости образцов по методу Виккерса показал увеличение твердости поверхности со значений 356...380 HV (исходная структура) до 592...624 HV (после модификации). Методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS Mechanical было смоделировано поведение коленчатого вала КамАЗ-740 при воздействии на него рабочих циклических нагрузок. Анализ показал, что наибольшие напряжения 91,673 МПа возникают в галтелях шатунной шейки, а максимальные значения деформации тела шейки достигают 11,829 мкм. Было установлено, что отшлифованный коленчатый вал, без последующего поверхностного упрочнения, имеет сниженное количество циклов работы до 163070, но после поверхностной электролитно-плазменной модификацией может работать неограниченное количество циклов. Метод электролитно-плазменной модификации поверхности шеек коленчатого вала позволяет увеличить запас прочности на 18...38%. Результаты данного исследования имеют практическую значимость для повышения качества капитального ремонта стальных коленчатых валов дизельных и бензиновых двигателей и увеличения их срока эксплуатации.

Ключевые слова: Коленчатый вал, электролитно-плазменная модификация, усталостная прочность, капитальный ремонт, инженерный анализ.

References

1. E. Zadorozhnaya, I. Levanov, V. Erkin. Assessing Resource of Internal Combustion Engine Crankshaft Bearing in Consideration of Transient Regime. *Procedia Engineering* 206 (2017) 734-738. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.545>
2. Voznitsky I.V. Damages and breakdowns of diesel engines. Examples and analysis of causes. Second edition, revised - St. Petersburg, 2006;
3. UAC «KAMAZ» Operation, Maintenance and Repair Manuals, KAMAZ Engines, Naberezhnye Chelny, 2002, 247 p.;

4. Huang, H., Qian, Z., Liu, Z. (2021). Evaluation of the Repair Quality of Remanufactured Crankshafts. In: Metal Magnetic Memory Technique and Its Applications in Remanufacturing. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-1590-0_13
5. N. Nikolić, N. Tadić and J. Dorić. Influence of IC engine crankshaft main journals lengths on main bearings load. International Conference on Innovative Technologies, IN-TECH 2017, Ljubljana, 11. - 13. 9. 2017.
6. Aleksandar Vencl, Aleksandar Rac. Diesel engine crankshaft journal bearings failures: Case study. Engineering Failure Analysis 44 (2014), 217-228. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2014.05.014>
7. D. Arola, C.L. Williams. Estimating the fatigue stress concentration factor of machined surfaces. International Journal of Fatigue 24(9) 923-930, 2002 [https://doi.org/10.1016/S0142-1123\(02\)00012-9](https://doi.org/10.1016/S0142-1123(02)00012-9)
8. Nozdrzykowski, K.; Grządziel, Z.; Grzejda, R.; Stępień, M. Determination of Geometrical Deviations of Large-Size Crankshafts with Limited Detection Possibilities Resulting from the Assumed Measuring Conditions. Energies 2023, 16, 4463. <https://doi.org/10.3390/en16114463>
9. Lyalyakin, V.P., Slinko, D.B. Wear Resistance and Surface Hardness of Diesel Crankshaft Journals. Russ. Engin. Res. 44, 1412–1415 (2024). <https://doi.org/10.3103/S1068798X24702502>
10. Shuailun Zhu, Wei Yuan, Jianchen Cong, Qianjian Guo, Baotao Chi, Jie Yu. Analysis of regional wear failure of crankshaft pair of heavy duty engine. Engineering Failure Analysis 154 (2023) 107635. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107635>
11. Park, H., Ko, Y., and Jung, S., "Fatigue Life Analysis of Crankshaft at Various Surface Treatments," SAE Technical Paper 2001-01-3374, 2001, <https://doi.org/10.4271/2001-01-3374>
12. Tominaga, Y., Kim, J., Pyun, Y. et al. A study on the restoration method of friction, wear and fatigue performance of remanufactured crankshaft. J Mech Sci Technol 27, 3047–3051 (2013). <https://doi.org/10.1007/s12206-013-0824-1>
13. Boris Tarasenko^{1*}, Abdul-Mudalif Dzasheev², Viktor Markov³, Ramil Zagidullin⁴, Stanislav Akhmetshin⁴ and Adel Yakushev. Method for repairing steel crankshaft joints. II International Conference on Environmental Technologies and Engineering for Sustainable Development. 443 (2023) 04005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344304005>
14. A. Yu. Korolyov, V. A. Tomilo, V. S. Niss. Energy characteristics of the vapor-gas shell formation stage during electrolyte-plasma treatment. Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus 68(4) 344-352, 2024. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2024-68-4-344-352>
15. Pogrebnyak, A.D., Kaverina A.S., Klyshkanov M.K. Electrolytic plasma processing for plating coatings and treating metals and alloys. Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces 2014, 50, 72-87, <https://doi.org/10.1134/S2070205114010092>.
16. K.K. Kombayev, L.I.Kveglis, S.E. Sandybay, A.T. Shokputova. Technology of electrolytium-plasma treatment of aluminum alloys // Journal "Scientific Israel- Technological Advantages" MATERIALS ENGINEERING & NEW TECHNOLOGIES Vol.20, № 1, 2018, p. 46-52.
17. I.D. Gridunov, D.S. Yelemenov, A.B. Kasenova, K.K. Kombayev, Electrolyte-plasma surface treatment of 42XMFA (similar material aisi 4140) structural alloy steel, used for the manufacture of crankshafts of kamaz-740 engines, Bulletin D. Serikbayev of EKTU, Transport №3, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, 2022. https://doi.org/10.51885/1561-4212_2022_3_75

18. Hawryluk, M.; Lachowicz, M.; Łukaszek-Sołek, A.; Lisiecki, Ł.; Ficak, G.; Cygan, P. Structural Features of Fatigue Crack Propagation of a Forging Die Made of Chromium–Molybdenum–Vanadium Tool Steel on Its Durability. *Materials* 2023, 16, 4223. <https://doi.org/10.3390/ma16124223>
19. K. Kombayev, F. Khoshnaw, G. Uazyrkhanova, G. Moldabayeva, Experimental and Mathematical Modelling Investigation of Plasma Electrolytic Oxidation (PEO) for Surface Hardening of 20Ch Steel. *Materials*, 17, 2024, 6043. <https://doi.org/10.3390/ma17246043>
20. Kuat Kombayev, Alina Kim, Daniyar Yelemanov, Gulden Sypainova, Strengthening of Low-Carbon Alloy Steel by Electrolytic-Plasma Hardening, *International Review of Mechanical Engineering (I.R.E.M.E.)*, Vol. 16, N. 2, February 2022 (ISSN 1970-8734) <https://doi.org/10.15866/ireme.v16i2.21712>
21. L. G. Sulyubayeva, B. K. Rakhadilov, N. E. Berdimuratov, Z. A. Satbaeva. Research of the current state and technological opportunities of electrolyte-plasma chemical heat treatment of steels. *NNC RK Bulletin No 3* (2023). <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2023-3-182-191>
22. ErdingWen, Renbo Song and WenmingXiong. Effect of Tempering Temperature on Microstructures and Wear Behavior of a 500 HB Grade Wear-Resistant Steel, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI) – Metals* 2019,9,45. <http://doi.org/10.3390/met9010045>
23. Suresh Mysamy and Neelakrishnan Subramanyan. Fatigue failure prediction through factor of safety and stress concentration in a malfunctioned AISI 4140 automotive crankshaft. *Materials Research Express*, 10 (12) 2023 126516. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ad164c>

Information about the authors:

Gridunov I.D. – corresponding author, Master of Engineering, PhD student, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Serikbayev Str. 19, 070004, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan. grid.educ16@mail.ru

Kombayev K.K. – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, East Kazakhstan Technical University, Serikbayev Str. 19, 070004, Ust-Kamenogorsk, The Republic of Kazakhstan. kkombaev@edu.ektu.kz

Tabiyeva Y.Y. – Doctor PhD, Leading Researcher of the Center of Excellence “VERITAS” at the East Kazakhstan Technical University, Serikbayev Str. 19, 070004, Ust-Kamenogorsk, The Republic of Kazakhstan. etabieva@edu.ektu.kz

Kizatov A.S. – Master of Engineering, PhD student of the D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Serikbayev Str. 19, 070004, Ust-Kamenogorsk, The Republic of Kazakhstan. AKizatov@ektu.kz

Гридунов И.Д. – хат-хабар авторы, техника ғылымдарының магистрі, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің PhD докторанты, Серікбаев көшесі 19, 070004, Өскемен, Қазақстан. grid.educ16@mail.ru

Комбаев К.К. – техника ғылымдарының кандидаты, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің қауымдастырылған профессоры, Серікбаев көшесі 19, 070004, Өскемен қаласы, Қазақстан Республикасы, kkombaev@edu.ektu.kz

Табиева Е.Е. – PhD докторы, Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің «VIRITAS» артықшылық орталығының жетекші ғылыми қызметкері, Серікбаев көшесі 19, , 070004, Өскемен қаласы, Қазақстан Республикасы. etabieva@edu.ektu.kz

Қизатов А.С. – техника ғылымдарының магистрі, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің PhD докторанты, 070004, Серікбаев көшесі 19, 070004 Өскемен қаласы, Қазақстан Республикасы, AKizatov@ektu.kz

Гридунов И.Д. – автор для корреспонденции, магистр технических наук, докторант PhD Восточно-Казахстанского Технического Университета им. Д.Серикбаева, ул. Серикбаева, 19, 070004, Усть-Каменогорск, Казахстан. grid.educ16@mail.ru

Комбаев К.К. – кандидат технических наук, ассоциированный профессор Восточно-Казахстанского Технического Университета им. Д. Серикбаева, ул. Серикбаева, 19, 070004, г.Усть-Каменогорск, Республика Казахстан. kkombaev@edu.ektu.kz

Табиева Е.Е. – доктор PhD, ведущий научных сотрудник Центра Превосходства «VIRITAS» Восточно-Казахстанского Технического Университета им. Д. Серикбаева, ул. Серикбаева, 19, 070004, г.Усть-Каменогорск, Республика Казахстан. etabieva@edu.ektu.kz

Кизатов А.С. – магистр технических наук, докторант PhD Восточно-Казахстанского Технического Университета им. Д.Серикбаева, ул. Серикбаева 19, 070004, г.Усть-Каменогорск, Республика Казахстан. AKizatov@ektu.kz



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/10.32523/2616-7263-2025-150-1-107-123>

Исторический анализ архитектурного формирования высших учебных заведений

А.С. Бутабекова¹ , Ш.Т. Абдыкаримова 

Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина,
Астана, Казахстан

(E-mail: a.butabekova@kazatu.edu.kz)

Аннотация. Статья посвящена историческому анализу архитектуры зданий высших учебных заведений от ранних античных прототипов до современных высших школ. В ходе исследования изучаются архитектурные решения, оказавшие значительное влияние на формирование архитектуры учебных заведений в разных странах мира и в разные периоды. Также подчеркивается влияние культурных, экономических и политических факторов на проектирование вузов. В исследовании выделяются ключевые этапы развития архитектуры учебных заведений – от ранних монастырских школ и университетов эпохи Возрождения до масштабного строительства в XIX и XX веках, демонстрируя, как менялись подходы к проектированию в зависимости от изменений в образовательной системе, функциональных и эстетических предпочтений.

Особое внимание уделяется трансформации учебных пространств, связанной с эволюцией образовательных методик, а также взаимосвязи архитектуры учебных заведений с общими тенденциями в градостроительстве и стилевыми особенностями разных исторических периодов. Исследование подчеркивает, как архитектура учебных заведений способствует созданию оптимальной среды для интеллектуального роста и формирования сплоченного студенческого сообщества, а также как она отражает глубинные процессы исторического развития, культурные ценности и образовательные идеалы различных эпох.

Ключевые слова: архитектура, проектирование, высшие учебные заведения, архитектурно-планировочные решения, функциональные характеристики, факторы, архитектурная композиция.

Поступила 10.02.2025. Доработана 27.02.2025. Одобрена 04.03.2025. Доступна онлайн 31.03.2025

¹автор для корреспонденции

Введение

Архитектура высших учебных заведений является не только материальным воплощением академической среды, а глубоко интегрируется в социально-культурную сферу общества, отражающую исторические преобразования, национальные ценности, идеологию и устоявшиеся образовательные традиции. Связь архитектурного проектирования высших учебных заведений с такими обширными процессами, как политическая и экономическая ситуация страны и развитие образования в целом, очевидна, но все же нуждается в детальном изучении. Исследование исторической эволюции зданий высшей школы выявляет закономерности в трансформациях образовательных норм, отражение временных периодов на формирование учебной среды, изменения планировки и принципов управления учебным процессом. Формирование инфраструктуры высших учебных заведений обусловлено развитием научно-культурного потенциала общества, а также претерпевает трансформации под влиянием меняющегося понимания роли образования в обществе. В разные эпохи такие учреждения не ограничивались лишь профессиональной подготовкой специалистов, они выступали как центры научного знания, активной политической деятельности и инновационных культурных процессов. Разнообразие архитектурных концепций высших учебных заведений напрямую коррелирует с идеологическими изменениями, научно-техническим прогрессом и актуальными требованиями организации образовательной деятельности. С момента появления первых учебных заведений зодчие стремились воплотить в их зданиях архитектурные решения, стимулирующие интеллектуальное развитие и научные исследования. В ранние века и Средневековье образовательная система базировалась преимущественно в монастырях или расположенных в городе небольших зданиях. Архитектура того времени отличалась строгой функциональностью и аскетичностью – основной задачей было создание условий для обучения. Тем не менее, с прогрессом науки, городским расширением и увеличением количества студентов возникла потребность в возведении масштабных, специализированных сооружений. В эпоху Ренессанса и Нового времени учебные заведения трансформировались в ключевые культурно-идеологические центры, что отразилось на их архитектурных решениях в сторону величественных, композиционно сложных форм с глубокой семантической наполненностью.

Архитектура высших учебных учреждений выступает мощным индикатором исторических преобразований, демонстрирующим не только эволюцию строительного мастерства, но и ключевые социально-культурные сдвиги. В период с XIX по XX века архитектура учебных заведений кардинально меняется под влиянием индустриализации, урбанизации и глобализации. В это время наблюдается революция в строительной области: внедрение новых материалов и инновационных технологий. Особую роль сыграл рост массового образования – потребность в масштабировании учебных пространств диктовала необходимость пересмотра подходов к проектированию зданий высшей школы. Возникает новый этап: активно развиваются кампусы и модульные системы строительства объектов образовательного назначения. Это позволило не

только обеспечить вместительность для растущего числа студентов и преподавателей, но и создать оптимальную среду с учетом функциональности и комфорта учебного процесса.

Технологический прогресс в области информационных технологий ведет к социальной мобильности и, соответственно, к активному использованию дистанционного формата обучения. Эти изменения приводят к необходимости системных преобразований в архитектурном проектировании высших учебных заведений и формировании новых подходов, отвечающих современным требованиям и принципам устойчивого развития. Для создания актуальных архитектурных концепций современной высшей школы необходимо глубокое понимание исторических предпосылок формирования учебных заведений. Цель статьи позволила определить основные задачи исследования:

- определить влияние социальных и культурных факторов на развитие вузов;
- выявить основные типологические схемы формирования вузов;
- сформулировать основные принципы архитектурного формирования вузов.

Представленная научная статья является частью диссертационного исследования автора «Интеграция исторических и временных концепций в архитектурном проектировании высших учебных заведений».

Обзор литературы

Изучение эволюции архитектуры высших учебных заведений на протяжении времени охватывает тысячелетия от античности до наших дней. Особое место среди исследований первых вузов занимает работа D. Fideler «Platonic Academies», в которой рассматривается, как архитектура образовательных учреждений эпохи Возрождения формировалась под влиянием философских идей, отражая в своем пространственном решении и внешнем облике суть образовательных принципов.

Важным вкладом в понимание архитектурной истории образования является работа М.К. Кудрявцева «Буддийский университет в Наланде (V-VII вв.)», где автор сосредотачивается на уникальных архитектурных особенностях древнего индийского университета и его значимости в контексте глобальной истории образования.

Для изучения архитектуры вузов XX века ключевым является исследование А.В. Бунина и Т.Ф. Саваренской «Градостроительство XX века в странах капиталистического мира», где подробно прослеживается, как социально-экономические изменения и урбанистические тенденции повлияли на проектирование учебных заведений и кампусов, включая влияние модернистских и функционалистских направлений в архитектуре.

Классическим фундаментальным трудом в этой области является «Всеобщая история архитектуры в 12 томах», представляющая глубокий обзор архитектурных стилей и форм, характерных для учебных заведений разных эпох. В частности, университеты Ренессанса, как показано в труде «Университеты в эпоху Возрождения», не только являлись центрами знаний, но и воплощали идеалы искусства, сочетая красоту и функциональность.

Профессор P. Grendler в работе «The Universities of the Renaissance» проводит тщательное изучение архитектуры итальянских и других европейских высших учебных заведений тех времен, акцентируя внимание на трансформации образовательных систем и их отражение в архитектуре во время Ренессансной революции.

Ф. Рудольф в своём исследовании «Американский колледж и университет» фокусируется исключительно на американских университетах, раскрывая уникальные черты кампусных зон и их значимость для формирования образовательных стандартов страны. Особое внимание автор уделяет роли этих мест в городском планировании.

Г.Н. Цытович в книге «Университеты» рассматривает эволюцию высшего образования через призму его архитектуры, подчеркивая важность функционального зонирования и культурного контекста на формирование пространственных решений учебных заведений.

В исторической перспективе от древности до сегодняшнего дня литературные источники демонстрируют богатую палитру методологий изучения архитектуры образовательных учреждений. Эти исследования позволяют выявить, как архитектурное воплощение влияет на развитие педагогических концепций и создание неповторимых пространств для обучения и научных открытий.

Методология

В ходе исследовательской работы были использованы методы исследования:

1. Исторический метод, включающий анализ архивных материалов, строительной документации (планов, чертежей) и первичных источников по проектированию учебных зданий, дает возможность выявить важные этапы в истории вузов, связанные с архитектурными изменениями, а также определить их причины.

2. Сравнительный анализ предполагает изучение и сопоставление архитектурных решений высших учебных заведений различных стран на протяжении разных временных периодов. Он выявляет закономерности в развитии архитектуры высшей школы, а также характерные особенности, формируемые национальными традициями, политическими режимами и спецификой образовательных систем.

3. Контекстуальный метод рассматривает вузы как органическую часть исторически сформированной среды, исследуя их взаимосвязь с социально-политическими процессами, культурными трансформациями и изменениями в научных подходах к образованию. Этот метод фокусируется на том, каким образом архитектура учебных заведений отражала и реагировала на общественные перемены.

4. Визуальный метод в области архитектуры предполагает включение в исследование и глубокий анализ данных, представленных в виде изображений (фотографий, рисунков, чертежей) и документальных источников. Этот метод направлен на выявление ключевых архитектурных решений, формирующих визуальный облик вуза как центра знаний и культурного развития.

5. Пространственный анализ опирается на функциональной организации и композиционном моделировании архитектурного пространства. Этот метод включает анализ

расположения помещений (аудиторий, общественных зон), передвижения студентов и преподавателей внутри зданий и кампусов, а также взаимосвязь учебных и жилых пространств. Таким образом, архитектура высших школ рассматривается как сложная экосистема, где каждый элемент играет уникальную роль в образовательном процессе.

Используемые в исследовании методы, открывают широкие возможности для комплексного изучения архитектурной эволюции высшего образования. Они не только способствуют восстановлению хронологии развития учебных заведений, но и позволяют глубже понять их влияние на образовательные практики и социокультурные процессы в обществе.

Результаты и Обсуждение

Архитектура вузов во все времена относилась к особо значимым общественным сооружениям, играющим ключевую роль в градостроительстве и социокультурном развитии страны. Она отражала важные события, происходившие в обществе, демонстрируя характерные черты определенного времени. Чтобы отследить историю возникновения первых высших школ, следует обратиться к древнегреческой истории, а именно к Академии Платона в Афинах, основанной около 387 года до н.э. Считается, что она является прообразом современных высших учебных заведений в западном мире и представляла собой союз мудрецов. Платон основал Академию как место для изучения философии, математики, астрономии и других предметов. Это была не просто школа в современном понимании; это был центр интеллектуального обмена и академических поисков, где студенты могли ознакомиться с глубокими идеями, поучиться у великих мыслителей и развить философские основы, которые сформировали большую часть западной мысли. Несмотря на то, что в мире существовали более ранние древневосточные образовательные учреждения, Академия Платона выделяется как одно из самых первых учреждений, напоминавших современные вузы с точки зрения акцента на интеллектуальные поиски, структурированной учебной программы и ученого сообщества. Что касается архитектуры Академии, следует отметить, что ее парк находился недалеко от северных ворот Афин, был известен своей живописной природой с высокими платанами и тенистыми дорожками. Считается, что Платон приобрел участок неподалеку с домом и фруктовым садом, который служил центром для частных мероприятий, таких, как симпозиумы, где проходили философские дискуссии. Он также создал святилище для девяти Муз, где, вероятно, находились статуи и небольшой музей. Сад и дом Платона были достаточно небольшими по площади, но размещали в себе такие помещения, как экседра для бесед и, вероятно, библиотека для хранения научных трудов [1].

Примерно в 135 году в Риме появилось аналогичное высшее учебное заведение, открытое императором Адрианом и названное Атенеум (производное от «Афины»). В 425 году император Феодосий II основал в Константинополе высшую школу (Auditorium), которая со временем была переименована в университет. Стоит отметить, что к 380 году христианство стало государственной религией Римской империи и активно продвигало свои идеи через высшие школы [2].

Еще одним из древнейших высших учебных заведений, действовавших с V века н.э. по XIII век н.э., является монастырское образовательное учреждение Наланда, располагавшееся на северо-востоке Индии в штате Бихар. Огромный комплекс данного учреждения занимал площадь в более чем 23 гектара земли и включал в себя несколько храмов, семь монастырей, многочисленные здания для занятий, большие аудитории, общежития, три большие библиотеки: Ратна Сагара, Ратна Ниди, Ратна Ранджана, одна из которых была высотой в девять этажей. Помимо основных учебных зданий на территории Наланды располагались и другие необходимые постройки для комфортного проживания и обучения примерно 10 тысяч человек. В результате археологических раскопок была определена система вентиляции и канализации, а широкий фундамент, позволяет вообразить масштабы зданий. В центральной части архитектурного ансамбля располагалось величественное учебное заведение, окруженное восемью просторными павильонами. Комнаты для духовенства и наставников размещались вокруг внутренних двориков, где стены были украшены росписями, изящными барельефами и колоннами с виртуозной резьбой по красному камню, что демонстрировало архитектурное мастерство зодчих того времени. Отдельно стоящие здания превышали 60-метровую отметку, в одном из них располагалась 24-метровая медная статуя. Корпус по периметру защищали крепостные стены с угловыми башнями и величественными воротами, некоторые из которых служили для астрономических наблюдений [3].

Несмотря на то, что вышеперечисленные учебные заведения являлись идеологическими прототипами современной высшей школы, все же они были далеки от нынешнего представления вузов. Возникновение высших учебных заведений берет свое начало со специализированных школ гуманитарного направления в Италии, которые были трансформированы в университеты в XI-XII вв. Первое средневековое учебное заведение, в котором студенты управляли такими важными организационными процессами, как выбор места проведения занятий, назначение преподавателей и даже ректоров, возникло в городе Болонья в 1088 году. К основным факторам появления первых вузов именно в Италии можно отнести: развитие ремесел и торговли, выгодное расположение на важных торговых путях, интенсивное формирование городов, активная социальная и культурная жизнь города, сильные преподаватели и события, подтолкнувшие иностранных студентов объединиться для защиты своих прав. Следует отметить, что вплоть до середины XVI века учебный процесс в Болонском университете проходил при церквях или в частных апартаментах, где профессора читали свои лекции студентам. Первой резиденцией университета, объединившей в одном месте гражданское, философское, математическое, физическое, медицинское и естественнонаучное направления, стал дворец Архигимназии. Проект здания разработал архитектор Антонио Моранди, известный в то время как Террибилия, и построен кардиналом Борромео в 1563 году. Двухэтажное здание в плане имело прямоугольную форму, в центре которого располагался внутренний двор с часовой башней. На первом этаже в 1637 году болонским архитектором Антонио Паолуччи был построен зал для проведения исследований и практических занятий по анатомии. Он был эллиптической формы с деревянными многоярусными сиденьями и напоминал амфитеатр. В здании

имелись две большие лестницы, ведущие на второй этаж с учебными аудиториями, известно, что одна из аудиторий предназначалась для изучения искусства, а другая для изучения права. Долгие годы дворец Архигимназии являлся главным зданием Болонского университета и просуществовал вплоть до 1803 года. Архитектурно-планировочная организация большинства европейских вузов того периода была схожа с Болонским университетом: основные (учебные) и бытовые помещения (хозяйственные постройки, больницы, кельи и др.) располагались вокруг внутреннего двора с крытыми галереями. Галереи же с южной стороны, как правило, примыкали к Т-образной в плане капелле. По устойчивой схеме в центре двора размещались сады, фонтаны и скульптуры, способствовавшие отдыху, созерцанию и беседам. Исходя из функциональной и пространственной организации первых вузов, можно отметить их централизованную схему формирования. Все помещения были сгруппированы вокруг основного композиционного центра, выполнявшего роль ядра общественно-образовательного пространства. Одним из основных преимуществ данной типологической схемы проектирования учебных заведений является компактность и удобство организации внутренних коммуникаций.

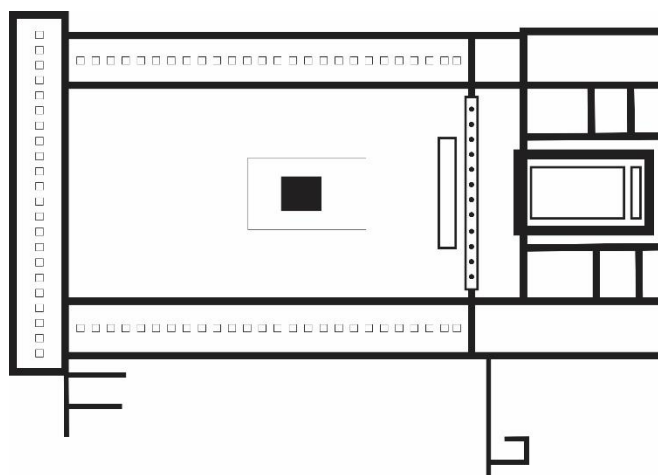


Рисунок 1. Планировочная схема Академии Платона, Афины, IV в. до н.э.

На формирование архитектурной композиции вузов непосредственное влияние оказывали градостроительные особенности города. Подтверждением тому служат Болонский, Падуанский и Саламанский университеты, которые были вписаны в исторически сложившуюся планировочную структуру города. В противовес перечисленным вузам можно поставить Оксфордский и Кембриджский университеты, которые изначально строились за городом, на неосвоенной сельской территории. Такое градостроительное расположение вузов имеет ряд явных преимуществ: во-первых, специализированная инфраструктура, соответствующая задачам учебных заведений; во-вторых, потенциал для архитектурного развития, то есть возможность расширения территории корпусов; в-третьих, благоприятная экологическая обстановка. В

дальнейшем некоторые средневековые вузы интегрировали часть своих корпусов в большие города, таким образом, способствуя появлению двух моделей расположения университетов: внутригородской и загородной [4].

В начале XIII в. появились пять первых университетов, ставших основоположниками высшего образования в Европе. Архитектурно-планировочное решение университетов данного периода представляло собой многофункциональную замкнутую структуру, центральным композиционным элементом которой являлся внутренний двор квадратной формы, окруженный помещениями различного назначения: учебными, жилыми, административно-хозяйственными и досуговыми. С развитием учебных заведений, назначения помещений также изменялись и дополнялись. Однако, несмотря на функциональные изменения, основные типологические особенности централизованной схемы формирования вузов сохранялись на протяжении длительного периода формирования архитектуры высшей школы. К примечательным характеристикам данной схемы можно отнести разработку планов вузов, предусматривавших организацию входов в структурные элементы здания из общего коммуникационного центра, выполнявшего роль связующего пространства. Такая схема расположения помещений позволяла поддерживать естественное передвижение потоков людей и сократить тем самым расстояния между ключевыми точками.

Архитектурный стиль Оксфордского и Кембриджского университетов можно отнести к английской готике, отличающейся массивными стенами, изысканной каменной резьбой, роскошной орнаментикой, избытком архитектурного декора [5].

Еще одним репрезентативным примером средневековых вузов является Саламанский университет, получивший в 1218 году от испанского короля Альфонсо IX статус высшей школы. Планировка данного учебного заведения не отличается принципиальной новизной, как и прежде, основным композиционным ядром служил двор с внутренними галереями и переходами между учебными помещениями для проведения лекций, прообразами которых выступали залы культовых сооружений. Особого внимания заслуживает главный фасад здания, выполненный в стиле платереско и изобилующий мелкими орнаментальными элементами [5].

Таким образом, к завершению эпохи средневековой истории роль образования в обществе возросла и способствовала архитектурно-планировочному развитию вузов. Тем не менее, ключевая идея проектирования учебных классов вокруг благоустроенной рекреационной зоны, с направленными к ней галереями, остается неизменной. Также следует отметить, что высшие учебные заведения развиваются в синергетической связи с населенными пунктами, в которых они расположены, усложняется их организационная структура и формируется особая материальная архитектурная среда [6].

Изменения архитектурного стиля высших учебных заведений в эпоху Возрождения связаны, в первую очередь, с социально-культурными преобразованиями того времени. Идеи гуманизма, обращение к античности, укрепление светских знаний приводят к новому подходу в архитектурном проектировании: открытости планировочной структуры, симметрии и гармонии. Такие архитектурные элементы, как арки, портики, колоннады и фронтоны символизируют глубокую связь с наследием античности и устремление к идеалам совершенства знания и прогресса в науке. Еще одним отличительным

свойством архитектуры вузов эпохи Возрождения является относительная доступность для широкой общественности, так как вузы выполняли не только образовательную функцию, но и становились центрами культурной и интеллектуальной жизни города.

Наибольшее количество высших школ по-прежнему находилось в Италии, однако идеи просвещения стали распространяться далеко за ее пределами и проникли в такие страны, как Швейцария, Нидерланды, Польша, Чехия, Венгрия, Скандинавия, Шотландия и др. [7].

В связи с увеличением контингента студентов и прекращением миграции, ренессансные вузы стали приобретать недвижимость и специально приспособлять ее под нужды учебного заведения. Например, в XV веке Парижский университет приобрел здание на левом берегу Сены, напротив еще совсем нового Собора Парижской Богоматери, оборудовав его под лекционные залы, библиотеки, общежития для студентов и преподавателей. В 1625 году глава Парижского университета кардинал Ришелье провел первую масштабную реконструкцию учебного комплекса и инициировал строительство новых корпусов, Церкви Сорбонны (часовня св. Урсулы Сорбоннской) и даже типографии. Часовня, разработанная архитектором Жаком Лемерсье, являлась композиционной доминантой территории университета. Таким образом, наблюдается тенденция децентрализации типологической схемы зданий, заключающаяся в расположении объектов учебных заведений в отдельных корпусах.

С расцветом эпохи Возрождения учебные заведения как уже существующие, так и вновь возникшие, приобретали роскошные сооружения, которые служили ярким воплощением престижа европейского академического сообщества того времени - символом трансформации из неформальных объединений ученых в значимые общественные институты. Архитектурное величие и центральная городская локация вузов эпохи Возрождения и ранних времен Нового времени подчеркивали их статус как неотъемлемой части городской жизни. Комплексная планировка и функциональное деление на учебные, жилые, административные, общественные зоны становятся важными элементами архитектуры вузов того периода [8].

Таким образом, архитектура ренессансных учебных заведений, опираясь на традиции прошлого, вплоть до XVII века предполагала распределение основных помещений вокруг внутреннего двора с крытыми галереями. Однако данный период отражает новые интеллектуальные и культурные устремления, которые стали определяющими в архитектурном формировании вузов. Например, в связи с усложнением учебного процесса, количество аудиторий возрастает, и появляются заведения с амфитеатральным расположением мест. В условиях стремительного роста числа студентов и увеличения факультетов, архитектурные подходы к созданию компактных многофункциональных зданий учебных заведений оказываются устаревшими и не в состоянии удовлетворить возросший спрос на образовательные услуги. Это обусловило необходимость комплексных изменений в архитектурном проектировании с целью оптимизации сложных организационных процессов. Активное строительство новых учебных корпусов способствовало распространению более децентрализованной схемы формирования вузов. Все чаще встречаются примеры расположения факультетов в отдельно стоящих зданиях, что обеспечивало более гибкую организацию учебного процесса и специализированного использования пространства. К преимуществам можно

отнести оптимизацию пространств под конкретные дисциплины, а также гибкость в планировании инфраструктуры.

Европейское развитие высшей школы получило широкое распространение по всему свету. Следует отметить, что в США вузы начали появляться с 1600-х годов, старейшим из них считается Гарвард, основанный 8 сентября 1636 года и сначала не имевший постоянного кампуса. Самый первый Гарвард-холл (Harvard Hall) был построен в 1674 году из красного кирпича – основного строительного материала того времени, который заменил старое деревянное здание. Однако оно было уничтожено пожаром в 1764 году и отныне самым старым зданием Гарварда считается Массачусетс-холл (Massachusetts Hall). Классическое раннегеоргианское здание из красного кирпича с белой отделкой окон являлось символом Гарвардского двора. Здание было построено для размещения 64 студентов, в нем было 32 комнаты и личные кабинеты для каждого. В 1725 году к зданию были добавлены часы, а в 1870 году - лаборатории и лекционные залы [9].

Что касается России, здесь высшие учебные заведения начали появляться в XVII веке (Киево-Могилянская академия, Славяно-греко-латинская академия в Москве). Однако российский прообраз современных высших учебных заведений был построен лишь в 1806–1808 годах по проекту архитектора Д. Кваренги – Смольный институт благородных девиц в Петербурге. Здание имело характерный для стиля классицизм П-образный план, строгие пропорции и восьмиколонный ионический портик, расположенный в центре фасада придавали вузу монументальный и величавый вид. Композиция здания была разделена 3 нерами с продольными рядами коринфских колонн, что подчеркивало торжественную архитектурную тему главного фасада. Протяженный главный корпус учебного заведения с боковыми крыльями, образующими курдонер, имеет симметричную композицию. Здание института расположено вдоль реки Нева и относится к линейной типовой схеме проектирования. Данная схема часто применяется в проектировании крупных вузов, где важно обеспечить эффективное использование пространства. Линейная схема присуща зданиям с коридорной планировкой, что способствует большому числу окон и открытых пространств.

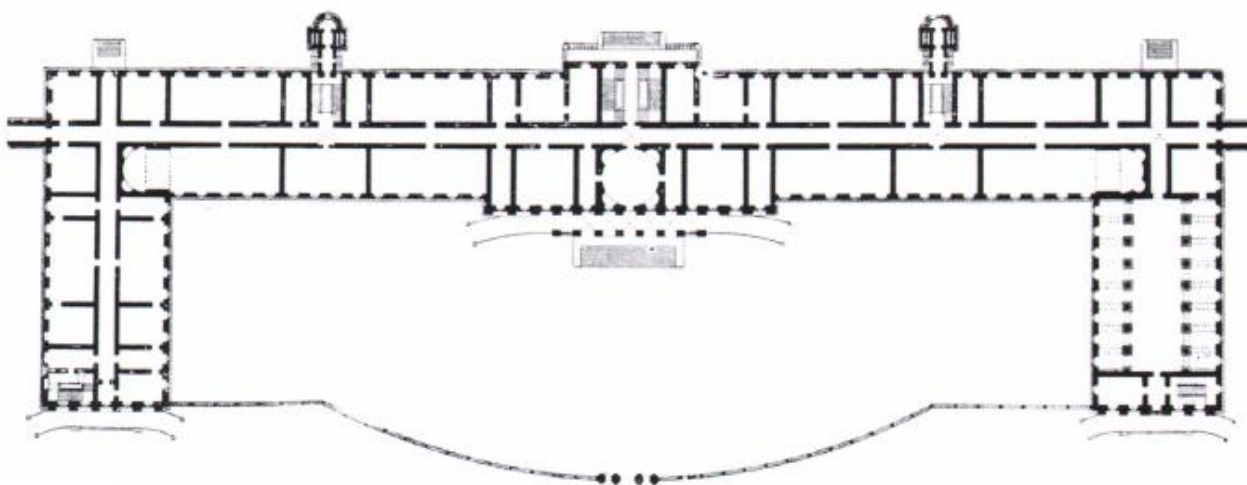


Рисунок 2. Планировочная схема Смольного института благородных девиц, Петербург.

Еще один вуз, построенный в этот же период, а именно в 1809-1810 годах в Германии, был Берлинский университет, основанный реформатором и лингвистом Вильгельмом фон Гумбольдтом и названный в его честь. Главное здание учебного заведения располагалось в реконструированном дворце, построенном в стиле позднего барокко с 1748 по 1766 года для принца Генриха Прусского. В этот период в архитектуре высших учебных заведений часто встречаются элементы барокко, с их изогнутыми линиями, сложными фасадами и широкими лестницами, при этом сочетающиеся с практическими требованиями обучения. В некоторых вузах Западной Европы при проектировании делался акцент на открытые пространства, что отражало идеи свободы, знания и символизировало общественную значимость образования.

На Востоке, где страны сумели сохранить государственную независимость, становление первых учебных заведений преимущественно базировалось на западных моделях структурирования образования. Этот процесс был стимулирован необходимостью модернизации и желанием преодолеть отставание как в экономике, так и в культуре под влиянием буржуазного прогресса. В Японии, начиная с 1868 года после внедрения буржуазной системы образования, начали интенсивно строиться вузы: в Токио (1877), Киото (1897), а также ряд других. В Китайской империи значимым событием стало создание Пекинского университета – первого высшего учебного заведения страны, открытого в 1898 году. Здание данного учебного заведения отражало западные архитектурные традиции, и было выполнено в неоклассическом стиле. Однако со временем его архитектура начала все больше отражать характерные особенности национального китайского зодчества: от симметричных планировок до традиционных крыш с замысловатыми формами и богато украшенных декоративными деталями [10].

В XX веке архитектура учебных заведений претерпела значительные изменения, оформившись в два ключевых подхода к проектированию: конструирование единого, часто сложного по конфигурации, здания, состоящего из примыкающих блоков, и более разрозненный вариант – создание композиции из отдельных построек (павильонов), которые зачастую размещаются вокруг центрального ядра. В качестве примера первого подхода можно привести главное здание Московского университета на Ленинских горах, 1949-1953 годов, архитектор Л. В. Руднев. Примерами же второго подхода служат Иллинойсский технологический институт в Чикаго (1955 года, автор – Мис ван дер Роэ) и комплекс университета в Ташкенте, 1970 года, архитектор Е.Е. Калашникова. В некоторых странах крупные учебные заведения стали организовывать в виде отдельных университетских городков, где каждое здание выполняло свою функцию, а инфраструктура подчинялась нуждам студентов и преподавателей.

Таким образом, можно отметить, что архитектурные решения второй половины XX века соответствуют комплексной типологической схеме формирования вузов. Данный подход к проектированию учебных заведений подразумевает интеграцию различных аспектов, объединяющих учебные, социальные, культурные и административные функции вуза в рамках единого целого. Соответственно, одним из ключевых признаков комплексной архитектурной схемы является разделение на специализированные сектора с четко определёнными функциями, которые гармонично сочетаются друг с

другом внутри единого пространства, обеспечивая целостность и структурированную организацию. Комплексная типологическая схема часто использует модуль как способ формирования гибкой пространственно-планировочной структуры вуза. При этом каждый корпус учебного заведения разрабатывается с учетом пропорций и эстетической согласованности с остальными сооружениями, что создает единый визуальный образ и ощущение целостности пространства.

В результате индустриализации XIX века, а также роста числа обучающихся, высшие учебные заведения столкнулись с необходимостью развития инфраструктуры, что приводит к разработке новых архитектурно-планировочных решений. В первую очередь они были направлены на обеспечение оптимального функционального зонирования (отдельные блоки для учебы, проживания, научных исследований, досуга) и экономической целесообразности строительства. В этот период здания проектируются для больших аудиторий с учетом максимальной эффективности использования пространства. Учебные заведения стали включать новые помещения: лаборатории, специализированные аудитории, научные центры и мастерские. Такие вузы, как Гарвард, Оксфорд и Кембридж, увеличивают площадь помещений за счет добавления к существующим зданиям новых блоков, выполненных в стиле неоготики и неоклассицизма.

После Второй мировой войны, в XX веке, архитектура вузов претерпевает значительные изменения – появляется новый подход к проектированию учебных зданий, который подразумевает активное использование современных материалов (бетон, стекло, металл), гибкость в организации среды и открытые пространства. Модернизм в архитектуре стремится к простоте и функциональности, а здания часто имеют строгие геометрические формы, тем самым оказывая влияние на весь процесс проектирования учебных заведений. Примерами служат такие вузы, как Стэнфордский университет в США и Лондонский университет в Великобритании, где архитектура не только служит образовательным пространством, но и становится центром культурной жизни с развитой социальной инфраструктурой: спортивными сооружениями, культурными центрами и студенческими клубами. В этот период особое внимание уделяется созданию многофункциональных открытых пространств, способствующих разнообразию учебных и культурных мероприятий.

Архитектуру вузов XX века можно охарактеризовать функциональным подходом в проектировании просторных и рациональных учебных пространств с элементами модернизма и конструктивизма. Переход же в XXI век ознаменовал новый этап в архитектуре вузов, ориентированный на интеграцию технологий, устойчивое развитие и создание более гибких и открытых пространств, способствующие, помимо учебы, социализации, креативности и инновациям. В новейшие годы вузы придают первостепенное значение устойчивому развитию в архитектуре. Проектирование кампусов теперь подчиняется критериям экологичности, энергосбережения и внедрения передовых технологий. Так, Калифорнийский университет в Беркли, Университет Торонто и другие лидеры академического мира разрабатывают пространства с применением инноваций: от строительства энергоэффективных зданий до интеграции

солнечных панелей, систем умного управления ресурсами (включая водоотведение) и использования экологически чистых материалов. Цифровизация становится ключевым фактором – кампусы оснащаются «умными» системами для оптимального функционирования инфраструктуры, а сами университеты становятся более открытыми платформами для общественной жизни и научных диалогов. В этих пространствах гармонично сочетаются зоны обучения с неформальными зонами отдыха, современные лаборатории соседствуют с местами активного социального взаимодействия.

Таким образом, архитектурный ансамбль вузов выражает не только утилитарную функцию, но и символизирует стремление к инновациям в образовании и общественном развитии.

На основе вышеизложенного исторического анализа формирования вузов можно выявить основные принципы архитектурного проектирования учебных заведений:

1. Социально-культурные принципы, позволяющие проследить изменения требований к зданиям высших школ в зависимости от исторического контекста, социального устройства и культурных традиций;

2. Принципы градостроительно-архитектурного решения оказывают значительное влияние на архитектуру вузов, определяя как их внешний вид, так и внутреннюю организацию. Данный принцип подразумевает гармоничную интеграцию учебного здания в городскую и природную среду.

3. Принцип композиционно-художественного единства, являющийся одним из ключевых аспектов формирования вузов и предполагающий гармоничное сочетание всех архитектурных составляющих, их взаимодействии друг с другом, а также соответствие внутреннего и внешнего облика зданий образовательных учреждений общим целям, задачам и ценностям учебного процесса.

4. Принцип формирования общественного пространства в качестве основного композиционного элемента архитектуры вуза. Общественное пространство в учебном заведении является центральным местом в планировочной структуре, выполняя рекреационные функции, через которое пересекаются основные потоки студентов.

Заключение

Проведенный анализ показал, что на протяжении всей истории мирового развития высшие учебные заведения отражали социальные, идеологические, политические и культурные процессы, происходившие в различные периоды. Архитектура высших учебных заведений прошла долгий путь, начиная от простых монастырских школ и заканчивая современными корпусами с комплексной организацией. Сформированные архитектурно-композиционные приемы повторяются с незначительными изменениями в последующем строительстве вузов. Такие основные типологические схемы, как централизованная, децентрализованная, линейная и комплексная получили дальнейшее распространение в архитектурном проектировании современных вузов. Выбор определенной схемы формирования вузов зависит от таких факторов, как размер и местоположение учебного заведения, функциональные требования и основная концепция образования.

Появление многофункциональных университетов ознаменовалось строительством обширных кампусов с павильонами и аудиториями.

В XX и XXI века модернизм и постмодернизм кардинально изменили архитектурный облик вузов: они стали олицетворением инновационных подходов, активно внедряя современные технологии. Таким образом, анализ исторических материалов по архитектуре высших учебных заведений свидетельствует о тесной связи между изменениями в обществе, образовательной политике и архитектурных концепциях и позволяют сделать прогноз дальнейшего развития вузов с учетом современных требований.

Вклад авторов:

Бутабекова А.С. – сбор данных, анализ, написание, редактирование.

Абдыкаримова Ш.Т. – редактирование, утверждение текста.

Список литературы

1. Fideler D. Platonic Academies: The Educational Centers of Athens, Alexandria, and Renaissance Florence – Their History and Contribution to the Philosophy of Education. –New York: Ross School – 1996. – 444 с.
2. Штадельман Ф. Воспитание и обучение у древних греков и римлян / Пер. с нем. Нейфельда// Гимназия. – 1895. – 63 с.
3. Кудрявцев М.К. Буддийский университет в Наланде (V-VII вв.). // Страны и народы Востока. М.: Изд-во Вост. лит. – 1972. Вып. 14. – С.184-189.
4. Бунин А.В., Саваренская Т.Ф. Градостроительство XX века в странах капиталистического мира. Том второй. – М.: Стройиздат. – 1979. – 415 с.
5. Всеобщая история архитектуры в 12 томах. Т. 5. Архитектура Западной Европы XV-XVI веков /Под ред. Маркузона В.Ф., Габричевского А.Г., Каплуна А.И. и др. – М.: Стройиздат. – 1967. –С. 329,406-407, 470-472.
6. Popov A. Architecture of a College as a Form of Existence of the Material Environment of Higher Education in Medieval Europe Modern Campuses Formation Prerequisites: Lecture Notes in Civil Engineering.-2022.- Vol. 227.- P.107-117, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-94770-5_8
7. Университеты в эпоху Возрождения // Культура Возрождения. Энциклопедия в 2 т. / Под ред. Кудрявцева О.Ф., Ревякиной Н.В. и др. – Т. 2. М.: Российская политическая энциклопедия. – 2011. – С. 364–372.
8. Grendler P.F. The Universities of the Italian Renaissance. – Baltimore.: The Johns Hopkins University Press. – 2002. 592 с.
9. Фредерик Р. Американский колледж и университет. – Нью Йорк: Рандом Хаус. – 1962. – 624 с.
10. Цытович Г.Н. Университеты. – М.: Стройиздат. – 1973. – 49 с.

А.С. Бутабекова, Ш.Т. Абдыкаримова

С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан

Жоғары оқу орындарының сәулеттік қалыптасуына тарихи талдау

Аңдатпа. Мақала ерте ежелгі прототиптерден қазіргі жоғары мектептерге дейінгі жоғары оқу орындары ғимараттарының сәулесін тарихи талдауға арналған. Зерттеу барысында әлемнің әртүрлі елдеріндегі және әртүрлі кезеңдердегі оқу орындарының сәулесін қалыптастыруға айтарлықтай әсер еткен сәулеттік шешімдер зерттеледі. Сондай-ақ, жоғары оқу орындарын жобалауға мәдени, экономикалық және саяси факторлардың әсері атап өтіледі. Зерттеу білім беру жүйесіндегі өзгерістерге, функционалдық және эстетикалық қалауларға байланысты жобалау тәсілдерінің қалай өзгергенін көрсете отырып, ерте монастырь мектептері мен Ренессанс университеттерінен бастап XIX және XX ғасырлардағы ауқымды құрылысқа дейінгі оқу орындарының сәулесін дамытудың негізгі кезеңдерін көрсетеді.

Білім беру әдістерінің эволюциясымен байланысты білім беру кеңістіктерінің трансформациясына, сондай-ақ қала құрылысының жалпы тенденцияларымен білім беру мекемелерінің сәулеті мен әртүрлі тарихи кезеңдердің стильдік ерекшеліктерінің байланысына ерекше назар аударылады. Зерттеу оқу орындарының сәулеті интеллектуалды өсу мен біртұтас студенттер қауымдастығын қалыптастыру үшін оңтайлы ортаны құруға қалай ықпал ететінін және оның әртүрлі дәуірлердегі тарихи дамудың терең процестерін, мәдени құндылықтар мен білім беру мұраттарын қалай бейнелейтінін көрсетеді.

Түйін сөздер: сәулет, жобалау, жоғары оқу орындары, сәулет-жоспарлау шешімдері, функционалдық сипаттамалары, факторлары, сәулеттік композициясы.

A.S. Butabekova, Sh.T. Abdykarimova

S. Seifullin Kazakh agrotechnical research university, Astana, Kazakhstan

Historical analyses of the architectural formation of higher education institutions

Abstract. The article is devoted to the historical analysis of the architecture of buildings of higher education institutions from early antique prototypes to modern higher schools. The study examines architectural solutions that have had a significant influence on the formation of the architecture of educational institutions in different countries of the world and in different periods. The influence of cultural, economic and political factors on the design of higher education institutions is also emphasised. The study highlights key stages in the development of the architecture of educational institutions, from early monastic schools and Renaissance universities to large-scale construction in the nineteenth and twentieth centuries, showing how design approaches changed in response to changes in the educational system, functional and aesthetic preferences.

Particular attention is paid to the transformation of learning spaces associated with the evolution of educational methodologies, as well as to the relationship of the architecture of educational institutions to general trends in urban planning and the style characteristics of different historical periods. The study

emphasises how the architecture of educational institutions contributes to the creation of an optimal environment for intellectual growth and the formation of a cohesive student community, as well as how it reflects the underlying processes of historical development, cultural values and educational ideals of different eras.

Keywords: architecture, design, higher education institutions, architectural and planning solutions, functional characteristics, factors, architectural composition.

References

1. Fideler D. Platonic Academies: The Educational Centers of Athens, Alexandria, and Renaissance Florence – Their History and Contribution to the Philosophy of Education. –New York: Ross School – 1996. – 444 c.
2. Shtadel'man F. Education and training in the ancient Greeks and Romans / trans. from german Neufeld // Gymnasium. – 1895. – 63 p.
3. Kudrjavcev M.K. Buddijskij universitet v Nalande (V-VII vv.). // Strany i narody Vostoka. M.: Izd-vo Vost. lit. – 1972. Vyp. 14. – 184-189 p. [in Russian]
4. Bunin A.V., Savarenskaja T.F. Gradostroitel'stvo XX veka v stranah kapitalisticheskogo mira. Tom vtoroj.– M.: Strojizdat. – 1979. – 415 c. [in Russian]
5. Vseobshhaja istorija arhitektury v 12 tomah. T. 5. Arhitektura Zapadnoj Evropy XV-XVI vekov / Pod red. Markuzona V.F., Gabrichevskogo A.G., Kapluna A.I. i dr. – M.: Strojizdat. – 1967. – 329,406-407, 470-472 p. [in Russian]
6. Popov A. Architecture of a College as a Form of Existence of the Material Environment of Higher Education in Medieval Europe Modern Campuses Formation Prerequisites: Lecture Notes in Civil Engineering.-2022.- Vol. 227.- P.107-117, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-94770-5_8
7. Universitet v jepohu Vozrozhdenija // Kul'tura Vozrozhdenija. Jenciklopedija v 2 t. / Pod red. Kudrjavceva O.F., Revjakinoj N.V. i dr. – T. 2. M.: Rossijskaja politicheskaja jenciklopedija. – 2011. – 364–372 p. [in Russian]
8. Grendler P.F. The Universities of the Italian Renaissance. – Baltimore.: The Johns Hopkins University Press. – 2002. 592 c.
9. Frederik R. American college and university. – New York: Random House. – 1962. – 624 p.
10. Cytovich G.N. Universitet. – M.: Strojizdat. – 1973. – 49 p. [in Russian]

Сведения об авторах:

Бутабекова А.С. – докторант PhD, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», ул. Бейбитшилик, 73, 010000, Астана, Казахстан.

Абдыкаримова Ш.Т. – кандидат архитектуры, ассоциированный профессор кафедры «Архитектура», НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», ул. Бейбитшилик, 73, 010000, Астана, Казахстан.

Бутабекова А.С. – PhD докторанты, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Бейбитшилик 73, 010000, Астана, Қазақстан

Абдыкаримова Ш.Т. – сәулет кандидаты, «Сәулет» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Бейбітшілік көшесі, 73, 010000, Астана, Қазақстан

Butabekova A.S. – PhD doctoral student, Kazakh Agrotechnical research university, Beibitshilik 73 str., 010000, Astana, Kazakhstan

Abdykarimova Sh.T. – candidate of Architecture, associate professor of the Department of «Architecture», Kazakh Agrotechnical research university, 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/>).



Adaptation of the principle of architectural design code for the coloristic organization of facades of residential areas on the example of Almaty

D. Almukasheva^{1*} , D. Nazarova² 

¹Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan

²Tashkent Architecture and Construction University, Department of Urban Planning and Landscape Architecture, Tashkent, Uzbekistan

(E-mail: *d.almukasheva@cu.edu.kz)

Abstract. Active urbanization processes are increasingly influencing the architectural appearance of cities. The need to develop a comprehensive strategy for improving comfortable urban spaces arises from the low quality of life of the population and the unfavorable architectural appearance of cities. This highlights the importance of adopting one of the key strategic tasks at the present stage – the development of an architectural design code for all regions of Kazakhstan.

Modern cities face numerous challenges in ensuring sustainable development, preserving cultural heritage, and creating a comfortable urban environment. Elements such as facades, recreational areas, small architectural forms, and advertising play a crucial role in shaping a cohesive city image. Thus, it is important to note that the architectural design code – a set of regulations governing the construction and development of the urban environment based on specific rules and standards – will become one of the key approaches to addressing these issues.

This article will analyze the facades of residential areas in Almaty, providing an accurate basis for identifying further directions for urban development.

Keywords: urban environment, architectural design code, Color, facades, coloristic.

Received 27.02.2025. Revised 05.03.2025. Accepted 07.03.2025. Available online 31.03.2025

*1the corresponding author

Introduction

In the context of analyzing modern urban development within a historically established environment, one can observe a trend of active construction of contemporary buildings in the central part of Almaty. In most cases, the insufficiently justified introduction of new architectural elements into a historical context leads to the fragmentation of the existing spatial structure and disrupts its integrity.

An analysis of color use in Almaty's architecture shows that until the 20th century, the color schemes of buildings were determined by the stylistic features of the architecture and the functional purpose of the structures. A study of the city's architectural objects revealed a consistent pattern in the choice of color schemes depending on the typology of buildings. For example, dark shades were commonly used for administrative buildings, while residential buildings were predominantly painted in light pastel shades of yellow. A notable example is the development along Seifullin Street, where ochre-yellow and pink hues dominate the facades of residential buildings. In contrast, houses on Kabanbay Street feature predominantly gray tones.

The architectural design of the opera house incorporates a beige color scheme, with individual structural and decorative elements highlighted in white. A typical example of this approach to color can be seen in the development along Tole Bi Street, where soft yellow shades predominate, contributing to a cohesive visual identity of the urban environment.

The color palette of cities is constantly evolving, and this process cannot be halted. However, these changes should be informed by historical experience and modern trends in color application. This is especially crucial in historically developed cities, where the urban color palette is largely shaped by numerous facades, billboards, signs, advertisements, and posters, often creating a visually aggressive environment [1]. This disrupts the cohesive visual identity of the streetscape.

Thus, there is a clear need to establish an architectural design code to ensure a harmonious color palette within the historical environment, based on defined principles for color application.

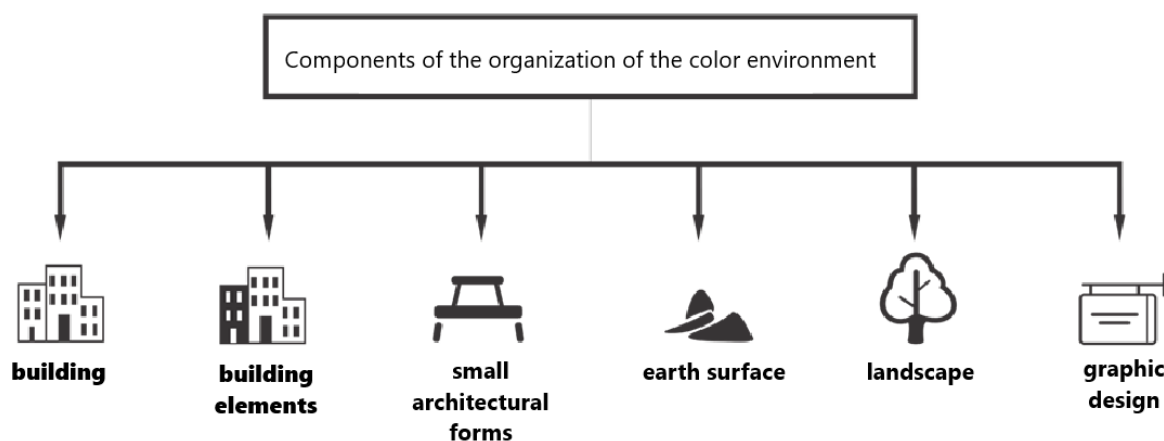
The methodology

The color condition of residential facades in Almaty is at an unsatisfactory level, necessitating the application of an environmental approach to their design. This approach should consider not only standard functional requirements but also the complex interaction of all elements of the urban environment, ensuring their harmonious perception and the creation of a cohesive color image. To achieve this, it is important to identify the key components of residential courtyards, as they form the foundation of the urban environment, serve functional purposes, and contribute to the development of spatial characteristics. These components include buildings and structures, along with their architectural elements, small architectural forms, as well as elements of landscape design and greenery systems [2].

Landscaping serves not only a utilitarian function related to environmental and recreational aspects but also plays a crucial role in shaping the color composition of the urban environment, contributing to its visual identity and compositional integrity.

In general, state regulations on urban design and planning provide guidelines for shaping the city's color identity. However, these recommendations do not always effectively preserve the distinctive color characteristics of the urban environment [3].

The fundamental components that define the spatial organization of residential areas serve as the structural foundation for developing a differentiated typology of urban elements. These components include facades, advertising and informational structures, small architectural objects, and urban navigation. Since the primary focus of color organization is on buildings and their architectural elements, other urban components are often overlooked (Scheme 1). This imbalance results in a visual dissonance in the city's color composition, including in Almaty.



Scheme 1. Components of the color environment

(Source: <https://www.dvfu.ru/upload/medialibrary/f0f/2016-3-11.pdf>).

In modern urban planning, facades play a major role in shaping the appearance of buildings. However, general design aspects, such as the organization of navigation elements, small architectural forms, and graphic design elements, are often overlooked. This highlights the need for a regulatory document in the form of an architectural design code, which would standardize these aspects [5].

A generally accepted architectural design code for Almaty, specifically for residential areas, is essential for creating and implementing a well-structured urban planning solution, including the development of a coherent color plan for the city [6]. The application of an architectural design code will help shape attraction zones by using color compositions on facades as focal points within the urban structure (Fig. 1a).

In the design of residential complexes in Almaty, a common approach involves selecting a calm, neutral color palette as a base, with a dominant accent color that stands out compositionally in the spatial environment, thereby reducing the monotony of the cityscape (Fig. 1b, c). As urbanization also affects the historical parts of the city, such compositional accents bring vibrancy to otherwise uniform residential areas [7].

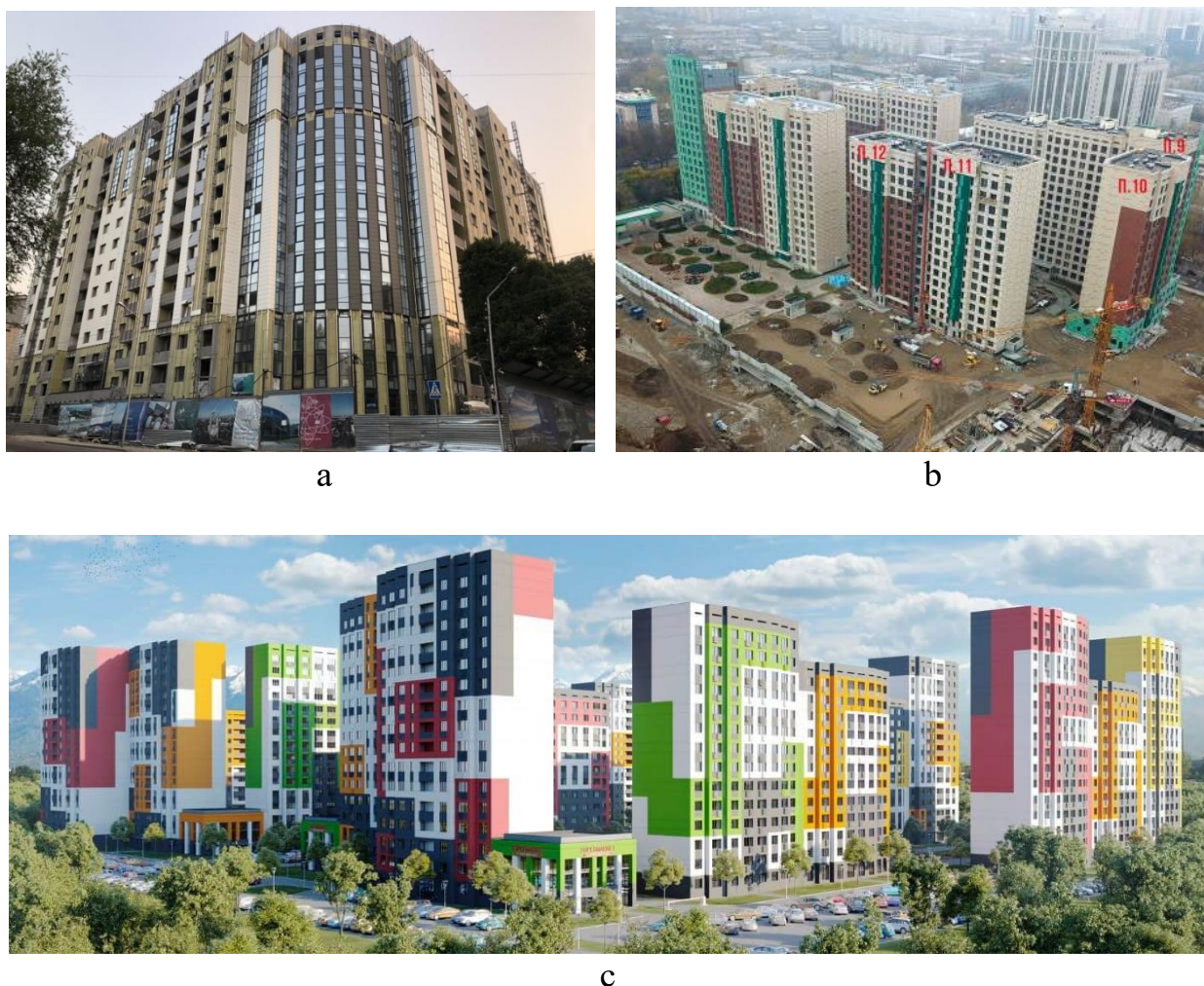


Figure 1. Colour organisation of facades in urban environments: a – Novella residential complex, 225 Bayzakova; b – Legenda residential complex, Abay Ave., corner of Manas St.; c – Gulder residential complex, 542 Raimbek Ave. (Source: <https://bi.group/ru>).

The color design of buildings serves multiple functions [8]. Color is not only a tool for designating functional purposes but also a means of expressing the cultural and traditional identity of an area. Additionally, it can be an effective architectural solution [9]. Through the strategic use of color, buildings can be visually distinguished from the surrounding mass of standardized structures. Techniques such as highlighting specific architectural elements – balconies, entrance areas, and attics – help achieve this effect (Fig. 2a, b).

The dominant colors used in urban compositions are typically pastel shades, while bright colors serve as accents. This approach helps break up the city's predominantly gray color scheme (Fig. 2c).



Figure 2. Coloristic compositions on facades: a – residential complex “Remizovka” 5th lane, 16; b – residential complex “Parasite”, micro-district Kairat, plot 157/1; c – residential complex “Element”, Tazhibaeva 157 (Source: <https://dom.kz/listing/333997>).

Findings/Discussion


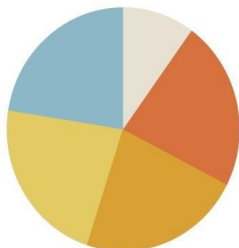
Creating a color-dominant feature independent of its location within the city structure allows for the formation of compositional centers, which can eventually become visual landmarks for districts or micro-districts [10].

In addition to developing a unified color plan that encompasses all scale levels of the urban environment, it is crucial to carefully design transit spaces [11]. As people move through residential areas or courtyards, they sequentially encounter various zones with unique characteristics. To enhance the quality of the urban environment, it is essential to create a dynamic visual experience while ensuring each space has a distinct identity, regardless of its scale [12].

Modern design approaches prioritize defining the primary scenario of each urban mise-en-scène. Based on this concept, a subject-spatial composition is developed with an intentional distribution of focal elements (Table 1).

Table 1. Coloristic organization of the color scheme using the example of facades in Almaty (Source: Author).

№	Image	Color Ratio Chart	Color plan	Conclusions on coloristic composition
1	 <p data-bbox="252 1061 509 1227">Residential complex "Fantasy" micro-district Samal-2, 105 Mendikulova Boulevard</p>		<p data-bbox="826 465 1086 600">Dominant brown color combined with beige and green inserts</p>	<p data-bbox="1118 465 1428 913">The shades of green are cold, and brown is warm, which causes dissonance. The warm shade of beige gives a harmonisation of the colour scheme, but since there are two shades of green, one of them is warm and the other is cold, the composition of the facade looks dark and unattractive.</p>
2	 <p data-bbox="252 1778 509 1910">Residential complex "Shugyla", Shugyla micro district, 341 Nauryzbay district</p>		<p data-bbox="826 1245 1086 1487">The facade uses bright and aggressive shades such as bright purple (lilac), yellow, blue and bright green. The base is gray.</p>	<p data-bbox="1118 1245 1428 1592">The environment is aggressive, as the architecture is not integrated into the general environment. Colour solutions rarely found in the natural environment are characterized by high saturation and contrast.</p>

<p>3</p>	 <p>Residential complex "Aquarelle", Satpaeva 90a</p>		<p>The main shade is blue. As an accent element, stripes of orange, green and yellow colors were used.</p>	<p>The imbalance of the color scheme does not allow visual focus and determination of the compositional center, thus creating visual chaos.</p>
----------	--	---	--	---

Current color organization analyses of residential areas often overlook factors such as building height and density. Over the past few decades, aggressive urban development has contributed to increased visual noise. As demonstrated in Table 1, there is a growing trend of using bright and dark shades that clash with the city's overall visual identity. This underscores the necessity of regulatory documents to guide the color organization of urban spaces [13].

Findings/Discussion

The study has led to conclusions that can be incorporated into the architectural design code for Almaty's residential areas:

1. If the base color is a light pastel shade, there should be only one accent color (Fig. 3, 4, 5).
2. In cases where the building has an elongated shape (Fig. 6), it is recommended to emphasize its geometry and use a warm color palette with similar material textures. [14]
3. Dark dominant colors can be softened by increasing the glazing area and incorporating compositional techniques, such as adding structural facade elements (Fig. 7).
4. When a group of buildings shares a similar color scheme, accent colors should be introduced for specific architectural elements (Fig. 8).



Figure 3. Residential complex “MEDEU PARK” Begalina 7 - Tole bi (Source: Author).



Figure 4. Residential complex “Altyn Bulak” Brusilovsky St., Building 163 (Source: Author).



Figure 5. Residential complex “Niko”, st. Tole bi-Momyshtuly (Source: Author).



Figure 6. Residential complex “Ile De France”, Kazhymuqan Street, 59 (Source: Author).

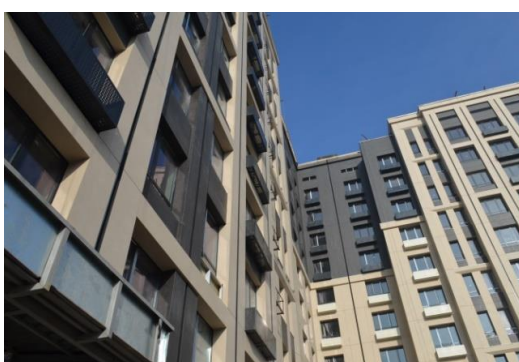


Figure 7. Residential complex “Exclusive Life”, Kabanbay Batyr St. 104 (Source: Author).



Figure 8. Residential complex “Famous Town”, St. Zhuldyz - st. 16th (Source: Author).

Creating a visually comfortable urban environment for residential areas is more relevant than ever in contemporary urban design. [15] While modern requirements and aesthetic preferences have evolved, color organization remains a crucial aspect of architectural composition,

particularly in a metropolis like Almaty. Many of the city's standardized residential buildings are in need of renovation, and diversifying their architectural appearance can help mitigate the monotony of large-panel housing developments [16].

Conclusions

The architectural design code serves as an effective tool for managing the urban environment, balancing modern requirements with the preservation of cultural heritage. The successful implementation of an architectural design code depends on considering the local context, ensuring active public participation, and securing government support.

Applying these principles in Kazakhstan can contribute to a more harmonious and sustainable urban environment. During this study, key principles for the architectural design code, specifically regarding the color organization of residential areas, were formulated with environmental considerations in mind:

- The principle of limiting the color palette based on regional characteristics.
- The principle of contextual dependence, ensuring that color choices align with a building's position within the urban ensemble.
- The principle of harmonization, integrating the color palette of residential areas with the polychrome environment of the surrounding cityscape.

Implementing these research findings in architectural practice will ensure the optimal functionality of residential areas while contributing to a well-integrated and aesthetically cohesive urban environment.

Conflict of interest. There is no conflict of interest between the authors.

The contribution of the authors

Almukasheva D.B.: contribution to the concept; execution of the claimed scientific research; creation of a scientific article.

Nazarova D.N.: interpretation of the claimed scientific research.

References

1. Lapshina E.A. Architectural coloristics. Vladivostok: Publishing house of Far Eastern State Technical University, 2004. 236 p.
2. Rahmatabadi, S. (2011). Psychology of colors and architectural facade and interior color selection. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5 (12), pp. 215–219.
3. Utaberta, N., Jalali, A., Johar, S., Surat, M., Che-Ani, A. (2012). Building Facade Study in Lahijan City, Iran: The Impact of Facade's Visual Elements on Historical Image. *International Journal of Humanities and Social Sciences*, 6 (7), pp. 1839–1844.
4. Lapshina E.A., Kopyeva D.D. Features of the coloristic organization of public spaces of the residential environment. *Bulletin of the Engineering School of FEFU*, 2016. No. 2 (27). Pp. 91-104.
5. Lynch, K. (1999- réed.) Design code of the city of Almaty. *Facades // Almatydc.Kz: Presentation of the main objects of 2016*. November 4. URL: [Electronic resource]. URL: <http://almatydc.kz/images/>

news/04.11.2016/Prezentation_TsGP_Designcode_facades_30112017. Pdf / (date of access: November 12, 2019).

6. Ikonnikov, A.V. Aesthetic problems of architecture / A.V. Ikonnikov. - M.: Stroyizdat, 1966. - 159 p.
7. Schubert D (2019). Jane Jacobs, cities, urban planning, ethics and value systems. Cities. T. 91. P. 4–9.
8. Oliynyk, O. P. (2020). Theoretical and methodological foundations of the formation of urban public spaces. Kharkiv: Kharkiv National University Construction and Architecture.
9. Royal Danish Academy – Architecture, Design, Conservation, UIA Sustainable Development Goals Commission, UIA World Congress of Architects 2023 (2020). An Architecture Guide to the UN 17 Sustainable Development Goals, Vol. 2, Copenhagen: Royal Danish Academy [online].
10. Knippschild, R., Zöllter, C. Urban regeneration between cultural heritage preservation and revitalization: Experiences with a decision-support tool in eastern Germany. Land 2021, 10, 547.
11. Wang, X.; Song, Y.; Tang, P. Generative urban design using shape grammar and block morphological analysis. *Front. Archit. Res.* 2020, 9, 914–924.
12. Barinova, Elena. *Primeneniye dizayn-koda v peshekhodnykh prostranstvakh* [Application of design code in pedestrian spaces]. *Nauka, obrazovaniye i eksperimentalnoye proyektirovaniye* [Science, education and experimental design], www.elibrary.ru/item.asp?id=34949284. Accessed 10 April 10, 2023.
13. Ashraf, Khalil, and Ahmed Ouf. "Form-based code as a tool for organizing October 6 City's townscape", *Journal of Engineering and Applied Science*, 2022. DOI: 10.1186/s44147-022-00082-8.
14. Caniggia G., Maffei G.L. (2001). *Architectural composition and building typology: interpreting essential building*, Siena, Alinea Editrice.
15. Carmona M., Bento J., Gabrieli T. (2023). *Urban Design Governance: Soft Powers and the European Experience*, London, UK.
16. Chang M., Goodwin H., Burbridge A. (2022). Re-imagining the use of design codes – designing healthier and more equitable places, *Journal Of Town & Country Planning* 91(5): 306–312, <https://doi.org/10.1016/j.progress.2023.100775>.

Д.Б.Альмукашева*¹, Д.А.Назарова²

¹*Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы, Қазақстан*

²*Ташкент сәулет-құрылыс университеті, қала құрылысы және ландшафтық сәулет кафедрасы, Ташкент, Өзбекстан*

Алматы қаласының мысалында тұрғын аудандардың қасбеттерін колористикалық ұйымдастыру үшін сәулеттік дизайн кодының принципін бейімдеу

Аңдатпа. Біңғайлы қалалық кеңістікті жақсартудың кешенді стратегиясын ұйымдастыру қажеттілігі халықтың өмір сүру сапасының төмендігі және қалалардың қолайсыз сәулеттік келбеті проблемасына байланысты. Бұл қазіргі кезеңде қазақстанның барлық өңірлері үшін сәулеттік жобалау кодексін әзірлеудің маңызды стратегиялық міндеттерінің бірін қабылдау қажеттілігін көрсетеді.

Қазіргі заманғы қалалар тұрақты дамуды қамтамасыз етуде, мәдени мұраны сақтауда, жайлы қалалық ортаны құруда көптеген қиындықтарға тап болады. Қасбеттер, демалыс,

кішігірім архитектуралық формалар, жарнама сияқты компоненттер қаланың тұтас бейнесін қалыптастыруда маңызды рөл атқарады. Осылайша, сәулеттік жобалау кодексі—нақты ережелер мен стандарттар негізінде қалалық ортаның дамуы мен дамуын реттеуді қамтамасыз ететін құрал-осы мәселелерді шешудің негізгі тәсілдерінің біріне айналады.

Қалалық ортаның сапасын жақсартудың дұрыс құралдары мен тиімді әдістерін таңдау үшін оның қазіргі жағдайын бағалау, қала проблемаларын жан-жақты талдау, оның күшті және перспективалы даму бағыттарын бөліп көрсету қажет. Рейтингік агенттіктердің әртүрлі зерттеулері, салыстырмалы талдау кешендері, индекстері бар. Мақалада Алматы қаласының тұрғын алабының қасбеттері талданады, бұл қалалық ортадағы одан әрі даму векторларын анықтаудың нақты көрінісін береді.

Түйін сөздер: қалалық орта, сәулеттік дизайн-код, түс, қасбет, колористика.

Д.Б.Альмукашева¹, Д.А.Назарова²

¹Казахских национальный исследовательский технический университет имени К.И.Самбаева, Алматы, Казахстан

²Ташкентский архитектурно-строительный университет, кафедра градостроительства и ландшафтной архитектуры, Ташкент, Узбекистан

Адаптация принципа архитектурного дизайн-кода для колористической организации фасадов жилых районов на примере Алматы

Аннотация. Растущая урбанизация все чаще дает о себе знать. Необходимость разработки комплексной стратегии улучшения комфортного городского пространства обусловлена проблемой низкого качества жизни населения и неблагоприятного архитектурного облика городов. Это подчеркивает необходимость принятия одной из важнейших стратегических задач по разработке архитектурного дизайн-кода на современном этапе для всех регионов Казахстана.

Современные города сталкиваются с многочисленными вызовами в обеспечении устойчивого развития, сохранении культурного наследия и создании комфортной городской среды. Такие компоненты, как фасады, места отдыха, малые архитектурные формы и реклама, играют важную роль в формировании целостного образа города. Таким образом, архитектурный дизайн-код – инструмент, который обеспечит регулирование застройки и развитие городской среды на основе определенных правил и стандартов, – станет одним из ключевых подходов к решению этих проблем.

Чтобы выбрать правильные инструменты и эффективные способы улучшения качества городской среды, необходимо оценить ее текущее состояние, всесторонне проанализировать проблемы города, выделить его сильные стороны и перспективные направления развития. Существуют различные исследования рейтинговых агентств, комплексы сравнительных анализов и индексы. В статье будет проведен анализ фасадов жилого района Алматы, который даст точную картину определения дальнейших векторов развития городской среды.

Ключевые слова: городская среда, архитектурный дизайн-код, цвет, фасады, колористика.

References

1. Lapshina E.A. Architectural coloristics. Vladivostok: Publishing house of Far Eastern State Technical University, 2004. 236 p.
2. Rahmatabadi, S. (2011). Psychology of colors and architectural facade and interior color selection. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5 (12), pp. 215–219.
3. Utaberta, N., Jalali, A., Johar, S., Surat, M., Che-Ani, A. (2012). Building Facade Study in Lahijan City, Iran: The Impact of Facade's Visual Elements on Historical Image. *International Journal of Humanities and Social Sciences*, 6 (7), pp. 1839–1844.
4. Lapshina E.A., Kopyeva D.D. Features of the coloristic organization of public spaces of the residential environment. *Bulletin of the Engineering School of FEFU*, 2016. No. 2 (27). Pp. 91-104.
5. Lynch, K. (1999- réed.) Design code of the city of Almaty. Facades // Almatydc.Kz: Presentation of the main objects of 2016. November 4. URL: [Electronic resource]. URL: http://almatydc.kz/images/news/04.11.2016/Prezentation_TsGP_Designcode_facades_30112017.Pdf / (date of access: November 12, 2019).
6. Ikonnikov, A.V. Aesthetic problems of architecture / A.V. Ikonnikov. - M.: Stroyizdat, 1966. - 159 p.
7. Schubert D (2019). Jane Jacobs, cities, urban planning, ethics and value systems. *Cities*. T. 91. P. 4–9.
8. Oliynyk, O. P. (2020). Theoretical and methodological foundations of the formation of urban public spaces. Kharkiv: Kharkiv National University Construction and Architecture.
9. Royal Danish Academy – Architecture, Design, Conservation, UIA Sustainable Development Goals Commission, UIA World Congress of Architects 2023 (2020). An Architecture Guide to the UN 17 Sustainable Development Goals, Vol. 2, Copenhagen: Royal Danish Academy [online].
10. Knippschild, R., Zöllter, C. Urban regeneration between cultural heritage preservation and revitalization: Experiences with a decision-support tool in eastern Germany. *Land* 2021, 10, 547.
11. Wang, X.; Song, Y.; Tang, P. Generative urban design using shape grammar and block morphological analysis. *Front. Archit. Res.* 2020, 9, 914–924.
12. Barinova, Elena. *Primeneniye dizayn-koda v peshekhodnykh prostranstvakh* [Application of design code in pedestrian spaces]. *Nauka, obrazovaniye i eksperimentalnoye proyektirovaniye* [Science, education and experimental design], www.elibrary.ru/item.asp?id=34949284. Accessed 10 April 10, 2023.
13. Ashraf, Khalil, and Ahmed Ouf. "Form-based code as a tool for organizing October 6 City's townscape", *Journal of Engineering and Applied Science*, 2022. DOI: 10.1186/s44147-022-00082-8.
14. Caniggia G., Maffei G.L. (2001). Architectural composition and building typology: interpreting essential building, Siena, Alinea Editrice.
15. Carmona M., Bento J., Gabrieli T. (2023). *Urban Design Governance: Soft Powers and the European Experience*, London, UK.
16. Chang M., Goodwin H., Burbridge A. (2022). Re-imagining the use of design codes – designing healthier and more equitable places, *Journal Of Town & Country Planning* 91(5): 306–312, <https://doi.org/10.1016/j.progress.2023.100775>.

Information about the authors:

Almukasheva Dina Bukenbaevna – PhD doctoral student of the Department of Architecture, Master of Technical Sciences, K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan.

Nazarova Dinara Anvarovna - professor, Department of Urban Planning and Landscape Architecture, Tashkent Architecture and Construction University, Tashkent, Uzbekistan.

Альмукашева Д.Б. - «Сәулет» кафедрасының PhD докторанты, техника ғылымдарының магистрі, Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, 050013, Алматы, Қазақстан.

E-mail: d.almukasheva@cu.edu.kz

ORCID: 0000-0002-5581-5165.

Назарова Д.А. - Ташкент сәулет-құрылыс университеті, қала құрылысы және ландшафтық сәулет кафедрасы, Ташкент, Өзбекстан.

Альмукашева Д.Б. - PhD докторант кафедрасы «Архитектура», магистр технических наук, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева, 050013, г. Алматы, Казахстан.

E-mail: d.almukasheva@cu.edu.kz

ORCID: 0000-0002-5581-5165.






Назарова Д.А. - профессор кафедры градостроительства и ландшафтной архитектуры Ташкентского архитектурно-строительного университета, Ташкент, Узбекистан.



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/>).



Кең қабатты балқылаумен қалпына келтірілген шойын иінді біліктердің төзімділік беріктігін зерттеу

А.С. Каржаубаев¹, А.Е. Тойлыбаев^{1*}, У.А. Усипбаев², С.С. Пернебеков²,
А.О. Казенова¹

¹«Мұхамеджан Тынышбаев атындағы АЛТ Университеті» АҚ, Алматы, Қазақстан

²Мұхтар Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

(E-mail: *asylbek.toylybaev@mail.ru)

Аңдатпа. Қазіргі уақытта шетелдік автокөліктерде шойын иінді біліктер жиі қолданылып келеді, оларды қалпына келтіру жоғары беріктігі бар шойынның өзіндік ерекшеліктеріне байланысты қиынға соқтырады. Жарияланымға ұсынылған мақала қалпына келтірілген шойын иінді біліктердің төзімділік беріктігін зерттеудің өзекті мәселелерін шешуге арналған. Қалпына келтірілген иінді білік дислокациялардың қарқынды қозғалысы немесе микроқұрылымнаң кез келген өзгерістерін тудыратын жоғары температураға дейін қыздырумен жүретін тозған иінді білік мойыншаларын балқылама қабаттарымен қаптау, қажу беріктігін төмендеуіне әкеледі. Көптеген зерттеулер нәтижесі көрсеткендей балқыма процестерін қолданып қалпына келтірілген бөлшектерді, әсіресе белгі жүктемелер жағдайында жұмыс істейтін бөлшектердің қажу беріктігі едәуір төмендететіні дәлелденді. Сондықтан, балқымамен қалпына келтірілген кез келген ауыр жүктемелерде жұмыс істейтін шойын иінді білік үшін қажу беріктігіне зерттеулер жүргізу аса міндетті.

Түйін сөздер: иінді білік, кернеу, төзімділік беріктігі, микроқаттылық, сынақ базасы, балқылау сымы, симметриялы циклдер, темір ұнтақ.

Түсті 12.03.2025. Жөнделді 17.03.2025. Мақұлданды 17.03.2025. Онлайн қолжетімді 31.03.2025

*хат-хабар үшін автор

Кіріспе

Көптеген зерттеулер нәтижесі көрсеткендей, балқымалау үдерістерін қолданып қалпына келтірілетін бөлшектер, әсіресе ауыспалы циклдік жүктемелер ортасында жұмыс істейтін бөлшектердің қажу беріктігін біршама төмендетеді. Осыған орай, балқымалаумен қалпына келтірілген ауыр жүктемелер жағдайында жұмыс істейтін шойын иінді біліктері үшін тозу беріктігіне зерттеулер жүргізу қажет. Уақыт бойынша циклдық өзгеретін динамикалық жүктемелердің (циклдық кернеулер) әсерінен сыну қажу беріктігіне жатады. Кернеу белгісі өзгерген кезде белгі ауыспалыларға жатады, ал бір белгі кезінде – пульсацияланады.

Тәжірибедегі уақыт бойынша циклдік кернеулердің өзгеру заңдылықтары әр түрлі – аздаған реттелуден бастап, нақты белгілерге дейін анықталады. Циклдік кернеулердің жиі кездесетін периодты заңдылықтары 1-суретте а, б, в келтірілген. Циклдік жүктеме уақытының өзгеруінің нақты заңын анықтау қиын болған кезде, ол шартты түрде синусоидалы деп қабылданады[1].

Циклдық жүктеу сипаттамаларына:

– кернеулер циклі-өзгеру процесінің бір кезеңінде ауыспалы кернеулердің нақты мәндер жиынтығы;

– t цикл кезеңі-бір кернеу циклінің уақыты;

– σ_{\max} циклінің максимал кернеуі, МН/м² (кгс/мм²), алгебралық мәнінде циклдің орташа кернеуі және амплитудасының алгебралық қосындысына тең циклдің үлкен кернеуі;

– σ_{\min} минималды цикл кернеуі, МН/м² (кгс/мм²), алгебралық мәнінде циклдің орташа кернеуі мен амплитудасының алгебралық айырмашылығына тең кіші цикл кернеуі.

Цикл кернеулерінің амплитудасы:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad 1)$$

Орташа циклдің кернеулері:

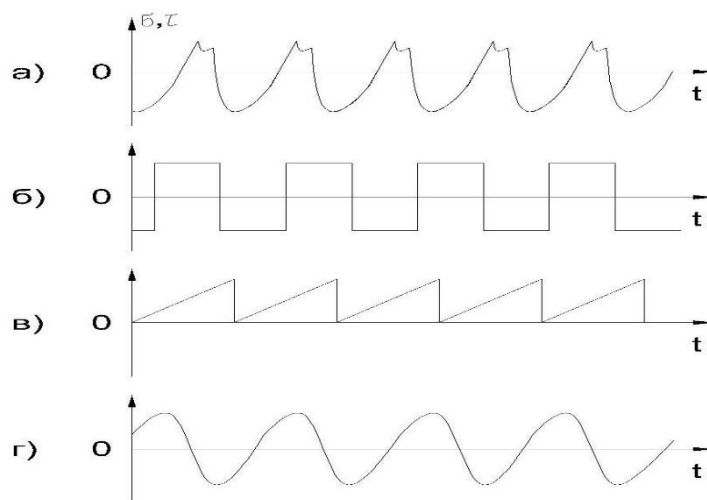
$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad 2)$$

Амплитуда шегі:

$$2\sigma_a = \sigma_{\max} - \sigma_m \quad 3)$$

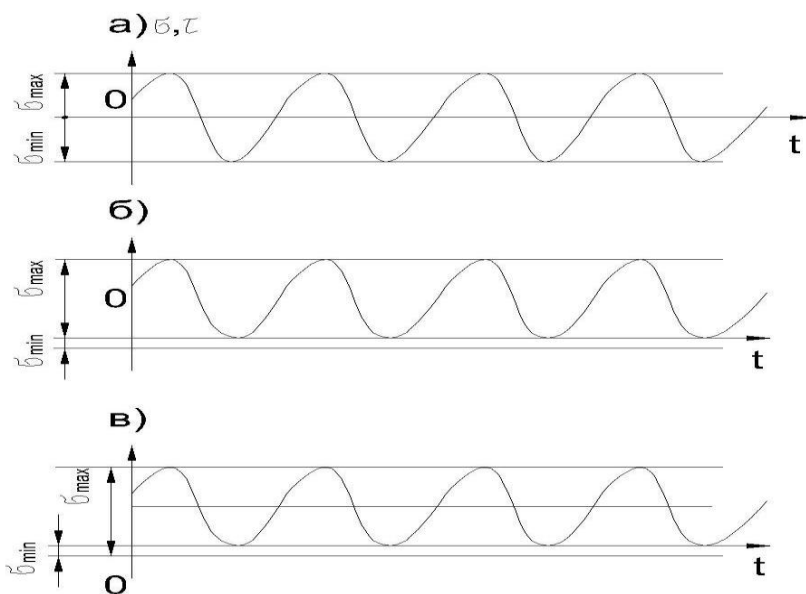
$$R_1 = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}, \quad R_2 = \tau_{\min} / \tau_{\max} \quad 4)$$

Симметриялы және асимметриялы циклдарды ажыратамыз. Бірінші жағдайда, σ_{\max} , τ_{\max} және σ_{\min} , τ_{\min} абсолютті мәндері тең, бірақ белгісі бойынша қарама-қарсы (2-сурет, а). Асимметриялы кернеу циклінде (2-сурет, б) бұл мәні бойынша тең емес және әртүрлі белгілер болуы мүмкін және бір белгі болуы мүмкін (пульсациялы кернеулер, 2-сурет, в). Симметриялық циклде $R = -1$ [2].



а – мерзімді заңдылықтың жалпы жағдайы; б – тікбұрышты; в – ара тісті; г – синусоидалы
1-сурет. Тәжірибедегі циклдік жүктеме графиктері

Металдың беріктікке (төзімділікке) қарсы тұру қабілеті σ_{R1} төзімділік шегімен (беріктік шегі) анықталады, MH/mm^2 (kg/cm^2), – берілген төзімділікке сәйкес келетін R асимметриясы бар циклдің ең жоғары кернеуінің мәні. Симметриялық циклдегі төзімділік шегі σ_{-1} , егер $\sigma_{max} = \sigma_{min}$ болса, бірақ ($R=-1$) белгісімен қарама-қарсы.



а – симметриялық цикл; б – әртүрлі жүктеуде симметриялы емес цикл; в – симметриялы емес пульсациялық цикл.

2-сурет. Конструкцияларды циклдық жүктеуде кернеу циклдерінің түрлері

Төзімділік сынағы циклдер амплитудасын өзгертудің келесі бағдарламаларын жүзеге асыруға мүмкіндік беретін әртүрлі сынақ қондырғыларында жүргізіледі [6]:

- а) синусоидалы (гармоникалық) немесе циклдегі кернеулердің тұрақты амплитудалық мәндерімен;
- б) бигармоникалық;
- в) айнымалы жиілікте (цикл кезеңінің өзгеруімен);
- г) бағдарламаланған блоктық цикл;
- д) са уақытының өзгеруімен эксплуатациялық спектрмен;
- е) гармоникалық циклге шамадан тыс жүктемелерді қосумен.

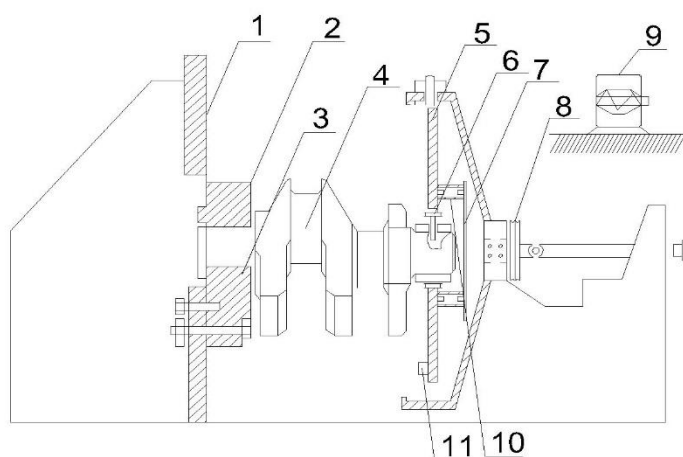
Әдіснама

Зерттеу объектісі ЗМЗ-53 қозғалтқыштардың шойын иінді біліктері алынады және олардың үш сериясы қарастырылып зерттеледі:

- 1-үлгі. Эталондық, яғни, жаңа шойын иінді біліктері;
- 2-үлгі. Балқылау сымы арқылы винттік әдісімен қалпына келтірілген шойын иінді біліктері;
- 3-үлгі. Темір ұнтақтарын қосу арқылы балқымамен қалпына келтірілген шойын иінді біліктері [3].

Осы зерттеулерді жүргізудің мақсаты ЗМЗ-53 қозғалтқыштардың сыналатын иінді біліктерінің тозу беріктігін зерттеу және оларды өзара салыстыру болып табылады. Бұл ЗМЗ-53 иінді біліктерінің сыналатын сериялары үшін тозу беріктігі бойынша салыстырмалы нәтижелерді анықтау.

Үш зерттелетін серияның иінді біліктерін қажу беріктігін сынау зертханада 64 «Н» стендінде жүргізілді, 3-суретті қараңыз.



- 1 – қондырғы плитасы; 2 – қақпақтар; 3 – қысқыш; 4 – иінді біліктің үлгісі; 5 – қоздырғыш диск;
6 – мойынтірек 11706; 7 – жетекші диск; 8 – жетекші диск; 9 – электр қозғалытқыш;
10 – иілгіш төлкелер; 11 – теңгеру бөлшектері.

3-сурет. Иінді біліктерді төзімділікке сынауға арналған 64 «Н» стендінің сұлбасы

ЗМЗ-53 қозғалтқышының иінді біліктерін зерттеуге арналған үлгілер қозғалтқышқа қоюға дайын үлгілерден таңдалады. Ол үшін иінді білік симметрия жазықтығы өтетін ортаңғы (үшінші) түпкі мойыншадан кесіледі. Төртінші және бесінші мойынша қалдықтары алынып тасталады.

Кесу жазықтығына жақын екінші және үшінші шатунды мойынша және үшінші және алтыншы жаққа қатты қыздыруға болмайды. №1, 2, 7, 8 бірінші және төртінші шатун, бірінші және бесінші түпкі мойыншалар мен жақтарға ешқандай технологиялық әсерге жол берілмейді. Осылайша, бүтіндей иінді біліктен екі бірдей натуралық үлгі алынады[7].

Сынақтар МемСТ 2860-65 сәйкес қуат жазықтығының айналуы кезінде ұштарының біріне бекітілген бөліктің инерция күштерінен иілу жүктемесін жүзеге асыратын автомобиль бөлшектерін төзімділік сынақтарына арналған стендте жүргізілді. 64"Н" типті бөлшек төзімділігін сынау қондырғысының сұлбасы көрсетілген.

Үлгі бөлшегінің еркін шеті мен инерция күші тербеліс амплитудасы шамасының есептік мәндерімен бірге машина жұмысында оларды тікелей өлшеу көзделеді. Бос шеттің қозғалыс амплитудасы РВ-1 вибрографымен, ал иінді білікке әсер ететін инерция күші кедергі тензодатчиктері және осы мақсаттар үшін қабылданатын сериялық аппаратураның көмегімен өлшенеді.

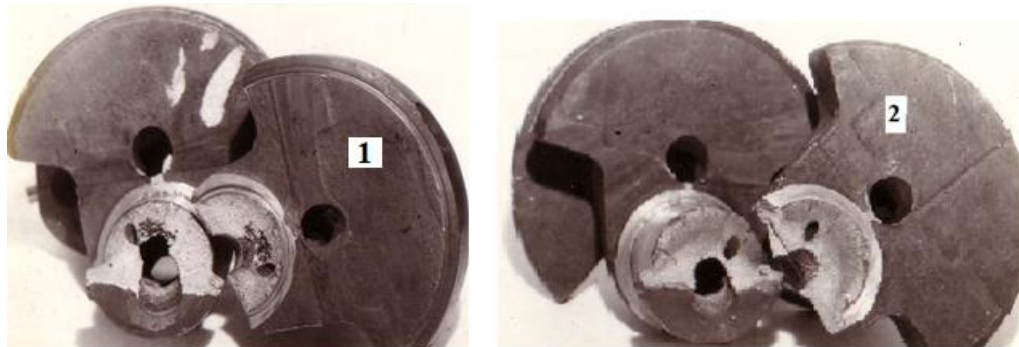
Қозғалтқыштың шойын иінді біліктерінің төзімділік сынақтарының нәтижелерін математикалық өңдеуді осыған сәйкес жүргізіледі[12].

Нәтижелер және талқылау

ЗМЗ-53 зерттелген сериялардың қозғалтқыштарының иінді біліктерінің натуралды төзімділік сынақтарының нәтижелері хаттамаларда келтірілген [2].

Жүктеу барысында сынау иінді біліктердің төзімділік бұзылуын талдай отырып, сынудың үш түрін белгілеу қажет.

Сынудың бірінші түрі. Жарықтың пайда болу аймағы есептік қауіпті қиманың жазықтығымен сәйкес келеді. Бұл ретте сыналатын шатун мойынның көлденең қимасының ауданы 61%-дан астамы зақымданады. Одан әрі жарықтың пайда болуы бұрандалы май тығынның астындағы саңылауды зақымдай отырып, жақ жағына қарай жалғасады. Шойын иінді біліктерді төзімділікке сынау кезіндегі барлық сынудың 90% біздің жағдайымызда дәл бірінші типке жатады (5-сурет).



4-сурет Төзімділікке сынау барысында шойын иінді біліктердің сыну түрлері

Сырудың екінші түрі. Жарықшақ жаққа шықпай, шатун мойнының барлық көлденең қимасын зақымдайды. Сырудың екінші түрі бойынша небәрі екі сыну байқалды (сынақ кезінде барлық төзімділік сынулардың кемінде 5%). Сынулардың екінші түрі есептік қауіпті қима туралы көрнекі түсінік береді және төзімділік сынақтары әдістемесінің дұрыстығын тағы да растайды.

Сырудың үшінші түрі. Сынықтардың бірінші түріне ұқсас және одан орналасқан жерімен ғана ерекшеленеді. Егер қауіпті қимада таңдалған сұлбада және үлгілер нысанында келтірілген момент және қауіпті кернеулер неғұрлым үлкен мәнге ие болса, онда үшінші үлгідегі сынуда бұл шамалар шамамен 32% кем болады [9].

Л.В.Мұратов теңдеуінен тәуелділікті пайдалана отырып, қабылданған әдістеме бойынша ЗМЗ-53 қозғалтқыштардың шойын иінді біліктерінің зерттелетін сериялардың төзімділік сынақ нәтижелерін өңдеуде төзімділік шегінің мынадай орташаланған мәнін береді[4]:

1. Үлгі. Вариациялық қатар: 4,92; 5,36; 5,36; 5,37; 5,39; 5,44; 5,45; 5,57; 5,72; 5,72; 5,75; 5,75; 5,83; 5,83; 5,87; 5,87; 5,95; 5,99; 6,07; 6,16; 6,20; 6,40; 7,50; 7,75 $\frac{к\mathcal{Z}}{мм^2}$.

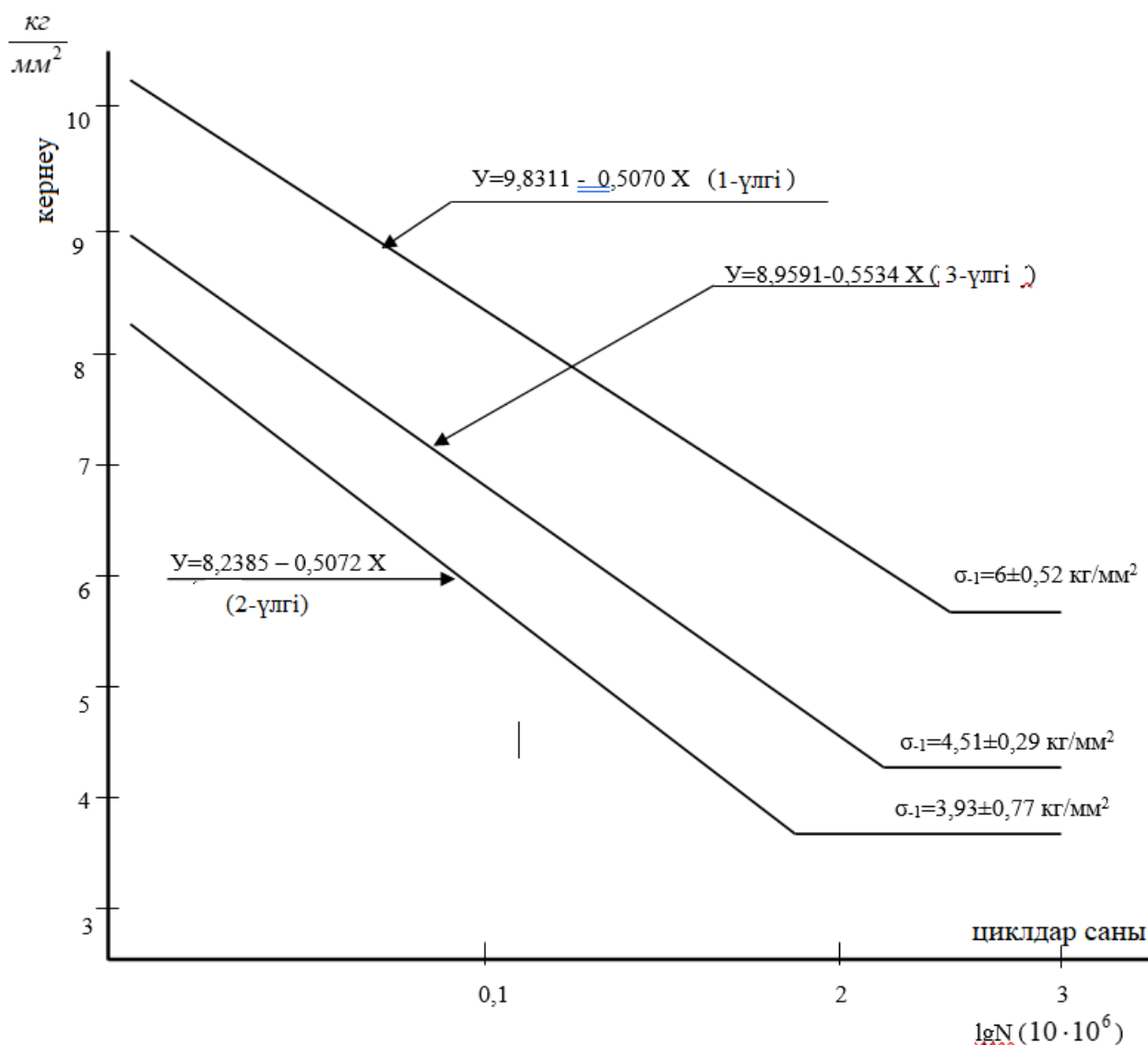
2. Үлгі. Вариациялық қатар: 5,77; 4,63; 4,44; 4,26; 4,00; 3,95; 3,90; 3,88; 3,85; 3,84; 3,80; 3,69; 2,80; 2,13 $\frac{к\mathcal{Z}}{мм^2}$..

$$\bar{x}_i = \sigma_{-1}^{19} = 5,997 = 6,00 \frac{к\mathcal{Z}}{мм^2}; \quad S = 0,523 \frac{к\mathcal{Z}}{мм^2}; \quad \gamma = 8,7\%.$$

3. Үлгі. Вариациялық қатар: 1,54; 3,79; 4,22; 4,43; 4,46; 4,47; 4,47; 4,48; 4,48; 4,52; 4,54; 4,55; 4,82; 4,86; 5,00 $\frac{к\mathcal{Z}}{мм^2}$.

$$\bar{x}_i^{cp} = \sigma_{-1}^{10} = 4,51 \frac{к\mathcal{Z}}{мм^2}; \quad S = 0,290 \frac{к\mathcal{Z}}{мм^2}; \quad \gamma = 6,40\%.$$

Номиналды кернеудің мәні және сынуға дейінгі циклдардың саны (сынақ базасы $10 \cdot 10^6$ цикл үшін қабылданған) осы серияның жиынтық сынақ хаттамасына енгізіледі [3]. Жиынтық хаттамалар негізінде зерттелген бөлшектердің төзімділік шегі есептеледі, төзімділік қисықтарының графиктері құрылады және төзімділік қисықтарының корреляциялық теңдеулері кейіннен сыналған сериялардың төзімділігі талданып есептеледі.



5-сурет. ЗМЗ- 53 қозғалтқышы иінді біліктерінің төзімділік графиктері

Төзімділік қисықтары көрсеткендей электр доғалы балқылауды қолдана отырып, әр-түрлі технологиялар бойынша қалпына келтірілген иінді біліктердің төзімділік беріктігінің төмендеу үрдісі бар екенін көрсетеді. Шойын иінді біліктерді балқымалау кезінде мойыншаларды қыздыруда бөлінген жылудың мөлшері және салқындату жылдамдығының әртүрлі градиенттері шаршау беріктігінің төмендеуіне әкеледі және циклдің ұзақ мерзімділігі едәуір азаяды.

Төзімділік қисығының сол жақ тармағының теңдеуін таңдап, параметрлерді бағалап және оны төзімділік сынақтарының кестесіне құру мақсатында ең аз квадраттар әдісімен сыналған иінді біліктердің әрбір сериясы үшін алынған эмпирикалық мәліметтерге сүйеніп, сызықтық регрессиялық талдау жүргізілді.

Өңдеу кезінде жұмыс әдістемесі мен ұсынымдары пайдаланып, әрбір серияның біліктеріне арналған регрессия сызығының эмпирикалық теңдеулерін жазамыз [4,11]:

1.Үлгі: $y = 6,3426 - 0,5070(x - 6,8800)$ немесе $y_i = 9,8311 - 0,5070x_i$ 5)

2.Үлгі: $y = 5,6822 - 0,5072(x - 5,0400)$ немесе $y_i = 8,2385 - 0,5072x_i$ 6)

3.Үлгі: $y = 5,8296 - 0,5534(x - 5,6550)$ немесе $y_i = 8,9591 - 0,5534x_i$ 7)

Әрбір серия біліктерінің төзімділік сынақтарының 1-кестесінде келтірілген барлық нақты сынуларына сәйкес жартылай логарифмділік координаталардағы 6-сурет осы сызықтардың айналасында ең аз ықтимал ауытқулармен топтастырылады [4]. Регрессия сызығын салу үшін 1-кестеде 2,4 және 8-бағандардың деректері пайдаланылады.

1-кесте. Сыналған шойын иінді біліктердің тозу беріктігінің сипаттамасы

Серия атауы	Төзімділік шегі, $\sigma_{-1}, \frac{кг}{мм^2}$	Дисперсия, S	Орташа квадраттық ауытқулар, σ^2	Вариация коэффициенттері, $\gamma, \%$	Салыстырмалы төзімділік		Сыну қисығының теңдеуі
					%	қанша есе	
1	2	3	4	5	6	7	8
1 Үлгі	6,00	0,274	0,523	8,7	100	1,00	$Y=9,831-0,507X$
2 Үлгі	3,93	0,593	0,770	20,2	65,5	1,53	$Y=8,238-0,507X$
3 Үлгі	4,51	0,084	0,290	6,40	75,2	1,33	$Y=8,959-0,553X$

Қолданыстағы кернеуді және сыналған иінді біліктерді сыну сипатына қарап (1-кестенің 3 және 5-бағандары) циклдік беріктікті бағалауға мүмкіндік береді. Барлық қалпына келтірілген шойын біліктер жаңасына қарағанда аз кернеуде қирайтыны анықталды. Мысалы, эталондық серия үшін үш үлгіде 10 млн. циклдегі сынақ базасын сынбай ұзақ ұстады[1, 9].

Қорытынды

Жоғарыдағы көрсетілген сынақтарының алынған нәтижелерін талдай келе балқылаумен қалпына келтірілген шойын иінді біліктері жаңа бөлшектермен салыстырғанда төмен циклдік беріктікке ие деген қорытындыға келді. Жаңа «1-үлгідегі» иінді біліктері үшін күтілетін төзімділік шегі 5,60... 6,20 кг/мм² диапазонында болды. «2-үлгіде» балқылау сымы арқылы винттік технологиясымен қалпына келтірілген шойын иінді біліктері бойынша қалпына келтірілген иінді біліктердің алты рет 4,00 кг/мм² төмен кернеуде қираған, сондықтан олардың төзімділік шегі осы деңгейден төмен болды. «3-үлгіде» темір ұнтақтарын қосу арқылы балқымамен қалпына келтірілген шойын

иінді біліктер үшін төзімділіктің күтілетін шегінің мәні 4,63... 4,50 кг/мм² шегінде болды, өйткені басқа үлгілермен сақталған циклдардың саны бұл ретте 2,5... 10,0 млн-ға тең.

Математикалық статистика аппаратының және төзімділік шегін анықтаудың жеделдетілген әдістерінің көмегімен нақты төзімділік сынақтары кезінде алынған берілгендерді талдап, Л.В.Мұратовтың белгілі теңдеуі бойынша сыналған бөлшектердің циклдік беріктігін сандық бағалауға мүмкіндік берді. Есептеме нәтижесінде жаңа иінді біліктердің төзімділік шегінің есептік мәні 5,93... 6,00 кг/мм² екені анықталды (1-кесте) [3].

Авторлардың қосқан үлесі:

А.С. Каржаубаев – тұжырымдаманы құру

А.Е. Тойлыбаев – зерттеу нәтижелерін талдау және синтездеу.

У.А.Усипбаев, С.С.Пернебеков, А.О.Казенова – зерттеу жүргізу, әдебиетпен жұмыс

Әдебиеттер тізімі

1 Авчинников Б.Е. Усталостная прочность поверхностно упроченных деталей. - Труды ВВИА, вып.1183. – М., 2017. – 290 с.

2 Деев В.А., Линкин Л.Д. Приближенная оценка усталостной прочности упроченных и наплавленных цилиндрических деталей. – Вестник машиностроения. № 3. 2013. С.11-12.

3 Кравцов Т.Г., Рыжов Н.Ф. Сопротивление усталости моделей валов, наплавленных проволокой Св-06Х19Н9Т в углекислом газе. – Автоматическая сварка. № 10. 2010. С. 36-40.

4 Какуевичкий В.А. Усталостная прочность и деформации чугуновых коленчатых валов, восстановленных различными способами наплавки. - Сварочное производство. №7. 2011. С. 30-33.

5 Посметьев В. И. Свойства покрытий, упроченных плазменным напылением с одновременной электромеханической обработкой / В. И. Посметьев, А. М. Кадырметов, В. О. Никонов, А. С. Пустовалов // Воронежский научно-технический вестник. – 2013. – № 1 (3) – С. 34-41.

6 Кадырметов А. М. Технологические перспективы и возможности процессов плазменного нанесения и упрочнения покрытий / А. М. Кадырметов, С. И. Сушков, В. О. Никонов // Строительные и дорожные машины. – 2013 г. – № 7. – С. 25-32.

7 Тополянский П. А. Плазменные технологии нанесения покрытий // Сварщик. № 3. 2002. С. 10–11.

8 Сидоров А. И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой / А. И. Сидоров. – М.: Машиностроение. – 2017. – 192 с.

9 Каржаубаев А.С. Контроль качества восстановленных шеек чугуновых коленчатых валов двигателя ЗМЗ-53. - Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы индустриально-инновационного развития». АГТУ, Алматы: 2007. – С. 19-21.

10 Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением (Под ред. Б. Е. Патона). – Машиностроение. – М. – 2004.

11 Каржаубаев А.С. Выбор рационального метода восстановления коленчатого вала. Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы индустриально-инновационного развития». АГТУ, Алматы: 2007.

12 Кадырметов А. М. Технологические перспективы и возможности процессов плазменного нанесения и упрочнения покрытий / А. М. Кадырметов, С. И. Сушков, В. О. Никонов // Строительные и дорожные машины. – 2013 г. – № 7. – С. 25-32.

А.С.Каржаубаев¹, А.Е.Тойлыбаев¹, У.А.Усипбаев², С.С.Пернебеков², А.О.Казенова¹

¹*АО «АЛТ Университет имени Мухамеджана Тынышпаева», Алматы, Казахстан*

²*Южно-Казахстанский университет имени Мухтара Ауэзова, Шымкент, Казахстан*

Исследования усталостной прочности чугуновых коленчатых валов, восстановленных широкослойной наплавкой

Аннотация. В настоящее время в зарубежных автомобилях применяются чугуновые коленчатые валы, восстановление которых представляет собой сложную задачу из-за особенностей высокопрочного чугуна. Представленная к публикации статья посвящена актуальным вопросам исследования усталостной прочности восстановленных чугуновых коленчатых валов. Процесс восстановления коленчатого вала, связанный с интенсивным движением дислокаций или с закрытием изношенных шеек вала при нагреве до высоких температур, может вызывать изменения в микроструктуре материала, что, в свою очередь, приводит к снижению прочности на истирание.

Результаты многочисленных исследований показали, что детали, восстановленные с использованием наплавочных процессов, значительно теряют усталостную прочность, особенно в условиях переменных нагрузок. Поэтому для чугунового коленчатого вала, работающего под воздействием тяжелых нагрузок и восстановленного с помощью наплавки, проведение исследований на прочность является обязательным.

Ключевые слова: коленчатый вал, напряжение, усталостная прочность, микротвердость, испытательная база, наплавочная проволока, симметричные циклы, железный порошок.

A.S.Karzhaubaev¹, A.E.Toilybaev¹, U.A.Usipbaev², S.S.Pernebekov², A.O.Kazenova¹

¹*ALT University named after Mukhamedzhan Tynyshpayev, Almaty, Kazakhstan*

²*South Kazakhstan University named after Mukhtar Aueзов, Shymkent, Kazakhstan*

Studies of fatigue strength of cast-iron crankshafts restored by wide-layer surfacing

Abstract. Currently, cast iron crankshafts are used in foreign cars, the restoration of which is a difficult task due to the characteristics of high-strength cast iron. The article presented for publication is devoted to topical issues of fatigue strength research of restored cast iron crankshafts. The process of restoring the crankshaft, associated with intensive movement of dislocations or with the closure of worn shaft necks when heated to high temperatures, can cause changes in the microstructure of the material, which, in turn, leads to a decrease in abrasion strength.

The results of numerous studies have shown that parts restored using surfacing processes significantly lose fatigue strength, especially under conditions of variable loads. Therefore, for a cast-iron crankshaft operating under heavy loads and restored by surfacing, conducting strength tests is mandatory.

Keywords: crankshaft, stress, fatigue strength, microhardness, test base, surfacing wire, symmetrical cycles, iron powder.

Авторлар туралы мәлімет:

Каржаубаев А.С. – техника ғылымдарының кандидаты, ассистент профессор, М. Тынышбаев атындағы АЛТ университеті АҚ, Шевченко көшесі 97, 050026, Алматы, Қазақстан

Тойлыбаев А.Е. – техника ғылымдарының кандидаты, доцент, М. Тынышбаев атындағы АЛТ университеті АҚ, Шевченко көшесі 97, 050026, Алматы, Қазақстан

Усипбаев У.А. – хат алмасу авторы, қауымдастырылған профессор, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Көлік, тасымалдауды және қозғалысты ұйымдастыру кафедрасының меңгерушісі, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан.

Пернебеков С.С. – хат алмасу авторы, қауымдастырылған профессор, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Көлік, тасымалдауды және қозғалысты ұйымдастыру кафедрасы, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан.

Казенова А.О. – хат алмасу авторы, Phd, доцент, Көлік, тасымалдауды және қозғалысты ұйымдастыру кафедрасы, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан.

Каржаубаев А.С. – кандидат технических наук, ассистент профессора, АО АЛТ университет им. М. Тынышбаева, ул. Шевченко, 97, 050026, Алматы, Казахстан.

Тойлыбаев А.Е. – кандидат технических наук, доцент, АО АЛТ университет им. М. Тынышбаева, ул. Шевченко, 97, 050026, Алматы, Казахстан.

Усипбаев У.А. – автор для корреспонденции, кандидат технических наук, ассоциированный профессор, зав.каф. «ТОПиД», ЮКУ имени М. Ауезова, Шымкент, Казахстан.

Пернебеков С.С. – автор для корреспонденции, кандидат технических наук, ассоциированный профессор, кафедра «ТОПиД», ЮКУ имени М. Ауезова, Шымкент, Казахстан.

Казенова А.О. – автор для корреспонденции, кандидат технических наук, ассоциированный профессор, кафедра «ТОПиД», ЮКУ имени М. Ауезова, Шымкент, Казахстан

Karzhaubaev A.S. – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, M. Tynyshbaev ALT University JSC, 97 Shevchenko str., 050026, Almaty, Kazakhstan

Toulybaev A.E. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, M. Tynyshbaev ALT University JSC, 97 Shevchenko str., 050026, Almaty, Kazakhstan

Usipbaev U.A. – corresponding author, associate professor, candidate of technical sciences, associate professor, head of department. “TOPD” SKU named after M. Auezov, Shymkent, Kazakhstan

Pernebekov S.S. – corresponding author, associate professor, candidate of technical sciences, associate professor, “TOPID” SKU named after M. Auezov, Shymkent, Kazakhstan

Kazenova A.O. – khat almasu authors, Phd, associate professor, Kolik, tasymaldaudy zhane kozgalysty uyymdastyru departments, M. Auezov atyndagy Ontustik Kazakhstan University, Shymkent k., 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 73.29.17

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-150-1-148-161>

Ғылыми мақала

Қазақстан темір жолдарының өткізу қабілетін арттыру үшін цифрлық ұлттық микропроцессорлық жартылай автоматты блоктау жүйесі

Қ.М. Сансызбай^{1*}, Е.А. Бахтиярова¹, Т.О. Чигамбаев², Ө.К. Әбдірашев³,
З. Баданбекқызы⁴

¹«Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті» АҚ

²Мұхамеджан Тынышпаев атындағы АЛТ университеті

³Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

⁴Азаматтық авиация академиясы

(E-mail: k.sansyzbai@iitu.edu.kz)

Аңдатпа. Мақалада жабдықтың тозуына, көлік жүктемесінің ұлғаюына және аппараттық жағдайлар санының өсуіне байланысты теміржол станцияларында туындайтын өзекті мәселелер қарастырылады. Белгі беру, орталықтандыру және блоктау жүйелерінің жай-күйін талдау олардың физикалық тозуы рұқсат етілген нормалардан айтарлықтай асып түсетінін және пойыздар қозғалысының қауіпсіздігі мен өткізу қабілетінің төмендеуіне әкелуі мүмкін екенін көрсетті.

Ескірген, нашар интеграцияланған жүйелерді пайдалану және жеткізушілерге жоғары тәуелділік отандық ТЖАТ-қа көшуді талап етеді. Осыған байланысты технологиялық тәуелсіздікті қамтамасыз ету және өндіріс тиімділігін арттыру үшін отандық ТЖАТ-ты дамыту басымдыққа айналады.

Мақалада «ҚТЖ» ҰК» АҚ желісіндегі теміржол көлігі құрылғыларының көрсеткіштері, Қазақстан Республикасының магистральдық желісінде жұмыс істейтін ПҚИР және ЖАБ ұзындығының салыстырмалы талдауы, әзірленіп жатқан ұлттық цифрлық МЖАБ жүйесінің құрылымы ұсынылған. және сыйымдылық есептеулері. Тасымалдаулардың түзу учаскелерінде әзірленетін ұлттық цифрлық МЖАБ жүйесі, егер жол жақсы жағдайда болса, учаскенің жылдамдығын 200 км/сағ дейін арттыруға мүмкіндік береді. Есептеулер талдауы көрсеткендей темір жол желісіне жартылай автоматты блокировка жүйесінің орнына бір жолды автоблокировканы енгізу арқылы телімнің өткізу қабілеттілігін 16,2% арттыруға әкеледі, ал егерде жартылай автоматты блокировка жүйесінің орнына екі жолды желіде автоблокировка жүйесін енгізу арқылы телімнің өткізу қабілеттілігін 202,5% дейін арттыруға мүмкіндік береді. Жартылай автоматты блокировканы автоматтыға ауыстыру арқылы телімнің өткізу қарқындылығын 3,5% арттырады.

Түйін сөздер: теміржол автоматикасы, телемеханика және байланыс; пойыздар қозғалысын интервалды реттеу; микропроцессорлық жартылай автоматты блоктау; өткізу қабілеті.

Түсті 10.12.2024. Жөнделді 28.02.2025. Мақұлданды 17.03.2025. Онлайн қолжетімді 31.03.2025

*Хат-хабар үшін автор

Кіріспе

Мемлекет басшысының 2020 жылғы 1 қыркүйектегі «Қазақстан жаңа нақты ахуалда: іс-қимыл уақыты» Қазақстан халқына Жолдауын іске асыру жөніндегі Ұлттық іс-шаралар жоспарының тармақтарының бірі [1] Қазақстан халқына Жолдауын жүзеге асыруға бағытталған заманауи инфрақұрылымдық жобаларын енгізу арқылы Қазақстанның көлік-транзит секторының бәсекеге қабілеттілігін, транзиттік маршруттардың сервистік деңгейін және жылдамдығын арттыру мүмкіндік береді.

Теміржол көлігі ҚР жетекші көлік секторларының бірі ретінде экономиканың барлық секторлары сияқты «Қазақстан-2050» стратегиясына сәйкес инфрақұрылымды жаңғырту және соңғы инновациялық технологияларды енгізу кезеңіне өтуде.

Еуразияның орталығында орналасқан Қазақстан өзінің инфрақұрылымының арқасында бес халықаралық темір жол көлік дәлізін байланыстыратын айтарлықтай транзиттік әлеуетке ие. Негізгі дәліз Транскаспий халықаралық көлік бағыты болып табылады, ол Қазақстанның Еуропаға экспорты үшін баламалы жол ретінде барған сайын маңызға ие болып отыр [2].

Қазіргі уақытта «көлік дәліздерінде» және ірі қалалардың қала маңындағы аймақтарында тасымалдау көлемінің тұрақты өсуі байқалады. Мамандардың болжауынша, тасымалдау қажеттілігі өсе береді. Алайда, көптеген теміржол учаскелерінің өткізу қабілеті таусылды, бұл жаңа экономикалық, технологиялық және ұйымдастырушылық жағдайларда теміржол көлігінің магистральдық желісінің (МЖ) тасымалдау және өткізу қабілетін арттырудың экономикалық тиімді әдістерін әзірлеуді талап етеді.

Пойыздардың қозғалысын басқару жүйелері тасымалдаудың белгіленген қауіпсіздігін қамтамасыз етіп қана қоймайды, сонымен қатар тасымалдау процесінің параметрлеріне белгілі бір шектеулер қояды және осылайша оның тиімділігіне әсер етеді. Сондықтан теміржол көлігінің даму тарихында тасымалдаудың тиімділігін арттыру және олардың көлемін ұлғайту мақсатында қозғалысты басқару жүйелерінің функционалдық сипаттамалары мен техникалық параметрлері жақсарды. Мәселен, мысалы, теміржол желілерінің тасымалдау қабілетін арттыру қажеттілігіне қарай пойыздар қозғалысын интервалды реттеу жүйелерінің (ПҚИРЖ) келесі поездар арасындағы аралықтарды қысқарту бойынша функционалдық мүмкіндіктері кеңейтілді: жезлдық жүйелер жартылай автоматты блоктау жүйелерімен (ЖАБ) ауыстырылды. Бұл, атап айтқанда, қосымша параллель жолдарды тасымалдау көлемі артып келе жатқан учаскелерде енгізу мерзімін ұзартуға мүмкіндік берді.

Қазақстан Республикасында «ҚТЖ» ҰК» АҚ темір жол автоматикасы және телемеханика (ТЖАТ) жүйесі негізінен тиісті инфрақұрылым көрсеткіштерімен сипатталады. Пойыздар қозғалысын басқаруды және бақылауды қамтамасыз ететін ТЖАТ құрамына мыналар кіреді:

- электрлік орталықтандыру жүйелері (ЭО);
- аралықта пойыздар қозғалысын интервалды реттеу жүйелері (ПҚИРЖ);
- переездік сигнализация;
- диспетчерлік орталықтандыру (ДО) мен диспетчерлік бақылау (ДБ) жүйелері.

Аралық телімдегі жылжымалы құрам қозғалысын бақылау және басқаруға төмендегідей ПҚИРЖ кіреді:

- автоблокировка (АБ);
- жартылай автоматты блокировка (ЖАБ);
- радиоблокировка (РБ).

Жартылай автоматты блокировка (ЖАБ) – бір немесе екі жолды аралықтардағы пойыздардың қозғалысын интервалды реттеуге арналған құралы белгі беру, орталықтандыру және блоктау (СОБ) құрылғыларымен жабдықталған бекеттерге іргелес аралықтарда, оның ішінде бұрмалардың ЭО және кез-келген үлгідегі сигналдармен жабдықталады [3].

Қазіргі уақытта бір-бірімен нашар интеграцияланған ескірген технологияларды пайдаланатын көптеген өндірістік жүйелер қолданылуда. Инфрақұрылым вендерлік жеткізушілеріне өте тәуелді және оларды ұстау мен жаңғырту үшін айтарлықтай шығындарды талап етеді. Сондықтан отандық ТЖАТ дамыту мәселесі өзекті болып отыр.

Әдіснама

Бүгінгі таңда магистральдық желінің пайдалану ұзындығы 14 906 км құрайды, жалпы саны 849 теміржол станциясы бар. Магистральдық желі мен станциялар поездардың өткізгіштігі мен өңдеу қабілетінің берілген параметрлері кезінде олардың пойыздарының қауіпсіздігі мен үздіксіз жұмысын қамтамасыз ету үшін пойыздар қозғалысын басқаруға арналған автоматика, телемеханика, есептеуіш техника және информатика жүйелерімен жабдықталған [4].

Аралықтарда пойыздардың қозғалысын қауіпсіздігін қамтамасыз етудің техникалық жүйелері болатын логикалық принциптер. Блоктау жүйелері келесі критерийлер бойынша жіктеледі:

- кезекшінің немесе диспетчердің іс-әрекетін қауіпсіз Техникалық бақылаудың болуы немесе болмауы;
- жүйелерді орталықтандыру дәрежесі.

Орталықтандырылған жүйелерде ақпарат жергілікті деңгейде бір блоктау постынан келесіге беріледі. Айта кету керек, осы функциялар контекстіндегі станциялар, разъездер және басып озу пункттері де блоктау бекеттері болып табылады. Орталықтандырылған жүйелерде бірнеше блок-бекеттерден алынған ақпарат бір жерде жиналады, яғни жүйе блок-посттарды қашықтан басқару мен жолдың бостығын бақылауды қамтамасыз етуі шарт. ТАТ жүйелері негізінен 1-кестеде келтірілген тиісті инфрақұрылым көрсеткіштерімен сипатталады [5].

1-кесте. «Қазақстан темір жолы» ҰК» АҚ желісіндегі ТАТ құрылғыларының көрсеткіштері

№	Техникалық құралдардың атауы	Өлшем бірлігі	Жалпы саны
1	Диспетчерлік орталықтандыру	км.	14803,55
2	Бекеттік жүйелер	ед.	849

2.1.	Кілттік тәуелділік	ед.	30
2.2.	Бекеттік орталықтандыру ЭО, МПО, РПО	ед.	839
3	Бекеттік жүйелермен жабдықталмаған	ед.	12
4	Жолдық блокировка	км.	14 468,55
4.1.	Автоматты блокировка	км.	10 311,85
4.2.	Радиоблокировка (пайдалануға берілмеген)	км.	0 (1 570)
4.3.	Жартылай автоматты блокировка (СИРДП-Е)	км.	3 970,5 (1 570)

ПҚИРЖ-мен жабдықталған желінің ұзындығы: автоматты блоктау АБ – 10311,85 км (65%), жартылай автоматты блоктау (СИРДП-Е) – 3970,5 (1570) км (35%) (1-сурет). АБ және ЖАБ жүйелері әр жылдары (1960-2000) жаңа теміржол учаскелерін салу немесе қолданыстағы теміржол учаскелерін қайта құру кезінде енгізілді.

Соңғы 7 жылда (2011-2017 ж.ж.) салынған теміржолдардың жаңа учаскелері (1570 км) радиоблокировкамен жабдықталған.

Қазіргі уақытта «ҚТЖ» ҰК» АҚ магистральдық желісінде жолдық блокировка жүйесінің 31 түрі қолданылады [6]. 2-кестеде келтірілген деректерге сәйкес 35 және одан да көп жыл сыни пайдалану мерзімі – 4 387 км (38,6%), 3501 км (30,85%) ПҚИРЖ пайдалану мерзімі 40 жылдан асады. Бұл ретте жекелеген учаскелер 50 жылдан астам уақыт бойы пайдаланылып келеді (өткен ғасырдың 60 жылдарында пайдалануға берілген).

Теміржол автоматикасы мен телемеханика жүйелерінің жай-күйін талдау қолданыстағы жабдықтың тозуы 70%-дан асатынын және 2030 жылға қарай бұл көрсеткіш 85%-дан асуы мүмкін екенін көрсетеді.

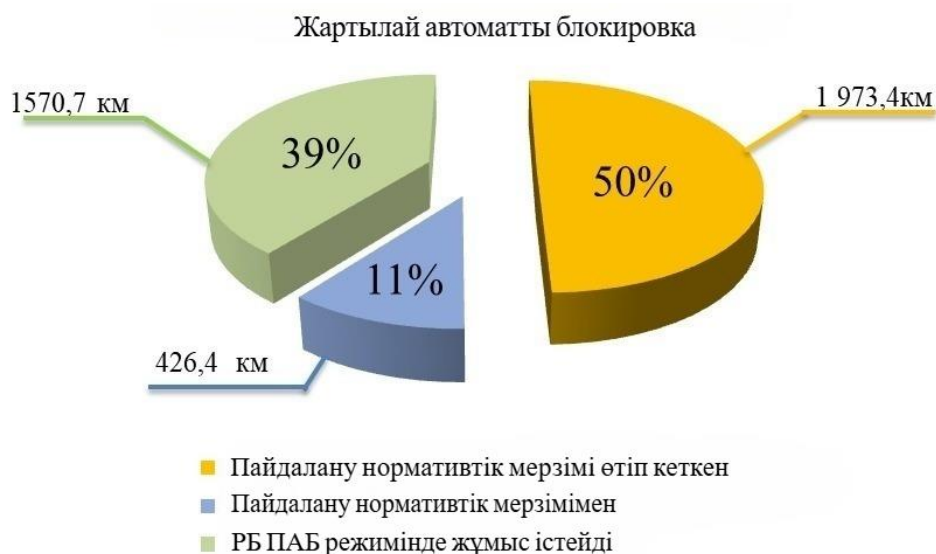
Осылайша, қолданыстағы сигнал беру, орталықтандыру және блоктау жүйелерімен жабдықталған теміржол учаскелерін қайта құру және жаңарту басым міндеттер болуы керек. Көптеген жүйелер ескірген және реле, басқару пульті және басқа компоненттер сияқты аналогтық жабдыққа негізделген, олар енді өндірілмейді, бұл оларды күтіп ұстау мен ауыстыруды қиындатады [7].



1-сурет. ҚР магистральдық желісінде пайдаланылатын ПҚИРЖ ұзындығы

Магистральдық желіде жұмыс істеу үшін көптеген маңызды өндірістік жүйелер қолданылады. Бұл жүйелер ұзақ уақыт бойы қолданылады, олардың көпшілігі ескірген технологиялар мен әртүрлі элементтік базалар, бір-бірімен еркін интеграцияланған платформалар негізінде жасалған. Осының нәтижесінде ҚР теміржол желісінің инфрақұрылымы осы шешімдердің вендерлік жеткізушілеріне қатты тәуелді, ал оларды пайдалану күтіп-ұстауға және жаңғыртуға қосымша шығындарды талап етеді. Көптеген өндірістік жүйелердің, соның ішінде схемалар мен бағдарламалық жасақтаманың логикасы ескірген және магистральдық желі инфрақұрылымының талаптарына әрдайым сәйкес келе бермейді. Бұл жүйелердің негізі аналогтық аппаратура – реле, басқару пульті, пульт-табло, дабыл бергіштер, индикаторлар, релелік және аккумуляторлық шкафтар, Мелентьев құлыптары, бағыттаушы аппараттар және т. б. болып табылады. Мұндай жүйелердің жабдықтары іс жүзінде тоқтатылды, нәтижесінде оларды ұстау және ауыстыру қорымен қамтамасыз ету мүмкіндігі жоқ [6].

I және II санаттағы теміржол желілері автоматты блоктау немесе радиоблоктау құрылғыларымен жабдықталуы керек, ал III және IV санаттағы жолдарда және аз жұмыс істейтін желілерде пойыздар қозғалысының кепілдік қауіпсіздігін қамтамасыз ететін пойыздардың қозғалысын реттеудің қарапайым құралдары болуы мүмкін. Мұндай құрылғыларға ең алдымен жартылай автоматты блоктау (ЖАБ) немесе қазіргі уақытта жұмыс істеп тұрған жағдайда электр жезлдық жүйені сақтау жатады (2-сурет) [4-5].



2-сурет. Қазақстан Республикасының магистральдық желісіндегі пайдаланылатын жартылай автоматты блоктау жүйесінің ұзындығы

Теміржол желілерінің өткізу қабілетін қамтамасыз етуді талдауға сүйене отырып, ТАТ жүйелерін жақсарту, жаңғырту тасымалдау процесін жеделдетуге және тиісінше тасымалдардан түсетін кірістерді ұлғайтуға әсер етеді. Мәселен, мысалы, XX ғасырдың аяғы мен XXI ғасырдың басында сигнал беру, орталықтандыру және блоктау құрылғыларын енгізу кезінде пойыздардың қозғалыс қауіпсіздігі деңгейінің

жоғарылауымен теміржолдардың өткізу қабілеттілігінің айтарлықтай (бірнеше есе) өсуі байқалды [8].

Қазақстан Республикасының темір жол көлігіндегі ПҚИРЖ жүйелерінің ағымдағы тозу деңгейі құрылғылардың бірнеше рет істен шығу қаупін және соның салдарынан өткізу қабілетінің айтарлықтай төмендеуін, жүктерді тасымалдау бойынша міндеттемелерді орындамауды, кірістердің жоғалуын және айыппұл санкцияларын тудырады.

Негізгі мәселелерге жатады [6]:

– Қазақстанда теміржол көлігі жүйелерін әзірлеу және сертификаттау үшін мамандандырылған ұйымдардың болмауы.

– Жүйелер мен жабдықтар өндіретін отандық кәсіпорындардың тапшылығына байланысты шетелдік өндірушілерге тәуелділік.

– Енгізілген микропроцессорлық және цифрлық жүйелер үшін сервистік қызмет көрсету қажеттілігі, көбінесе білікті персоналдың жетіспеушілігінен сыртқы мамандарды тартуды талап етеді.

– Қызметкерлерде шағын механикаландыру құралдарының және мамандандырылған құралдың болмауы.

– Станциялардың немесе жолдардың конфигурациясы өзгерген кезде үшінші тарап мамандарын тарту, бұл шығындарды арттырады және жобаларды қиындатады.

Қазақстанның темір жолдарындағы автоматика және телемеханика жүйелерінің құрылғыларын елеулі түрде модернизация жасалмаған жағдайда «Қазақстанның 2050 жылдарға қарай әлемдегі бәсекеге қабілетті 30 елдің қатарына кіруі жөніндегі «Қазақстан-2050» стратегиясын орындау мүмкін болмайды. Қолданыстағы тозығы жеткен жүйелер басқа дамыған елдердегі теміржол автоматикасының және телемеханикасының цифрлық микропроцессорлық жүйелерімен бәсекеге түсе алмайды [9].

Аралықтардың тікелей учаскелерінде әзірленіп жатқан МЖАБ ұлттық цифрлық жүйесі, жолдың жақсы жай-күйімен учаскенің жылдамдығын сағатына 200 км-ге дейін арттыруға мүмкіндік береді. Қазіргі уақытта ЖАБ кезінде аралық станцияларды автоматты әрекетке түрлендіруге арналған құрылғылар кеңінен қолданылады. Жекелеген бөлек пункттердің автоматты жұмысы екі көршілес бекет кезекшілерін қосады және блок-посттарда пойыздарды кесіп өту қажеттілігі болмаған кезде екі аралықты бір аралыққа қосу жолымен жартылай автоматты блокировка жұмысын қамтамасыз етеді.

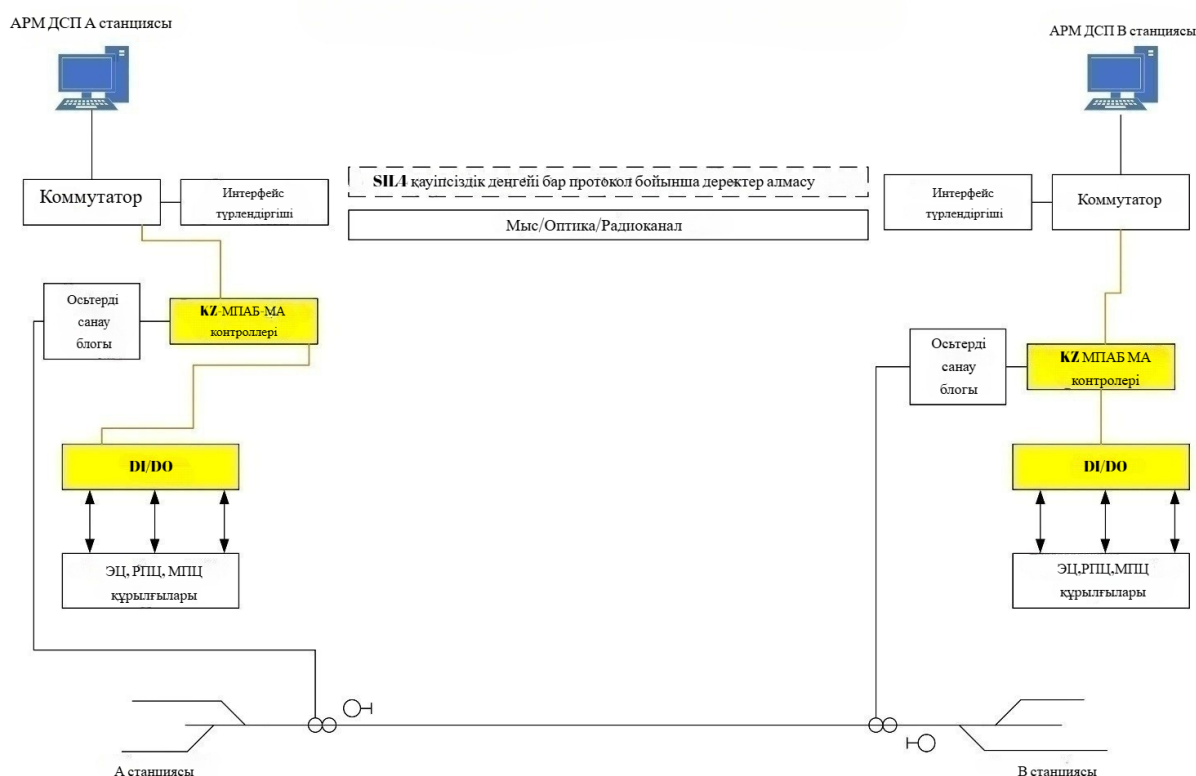
Микропроцессорлық жартылай автоматты блокировка екі бірдей жартылай жиынтықтан тұрады – көршілес бекеттердегі релелік бөлмеде орналасқан контроллер блоктары (3-сурет). Автоматты бақылау пунктінде жабдық стандартты сигналдық релелік шкафта немесе тасымалданатын модульде орналасады. Оны қосу үшін қосымша байланыс кабелінің сымдары қажет емес. Оны пайдалану ЖАБ жаңа элементтік базаға ауыстыруға, пойыздар қозғалысының қауіпсіздігін арттыруға, ЖАБ функционалдығы мен сенімділігін кеңейтуге, қызмет көрсетуді жеңілдетуге, Құрылыс және пайдалану кезінде шығындарды азайтуға мүмкіндік береді.

Әзірлеу барысында пойыздарды қабылдау және жөнелту кезінде станция бойынша кезекшінің әдеттегі іс-қимыл тәртібі сақталады. МЖАБ аппаратурасы бірдей блоктар мен тораптарды пайдалана отырып, бірыңғай аппараттық-бағдарламалық платформа негізінде әрекет етеді.

МЖАБ-ның сыртқы СОБ жүйелерімен өзара әрекеттесуі МЖАБ контроллері блогының тиісті кірістеріне түсетін дискретті басқарушы әсерлерді қабылдау және басқарушы релелерді қосуға командалар беру арқылы жүзеге асырылады.

МЖАБ аралықта қолдану нәтижесінде күрделі құрылысқа, посттық құрылғыларды орнатуға және жөндеуге кететін шығындар азаяды.

Байланыс желілері ретінде МЖАБ цифрлық жүйесі сымды байланыс арналары жоқ немесе олардың құрылысы тиімсіз болған жағдайларда, мысалы, Алматы қаласының метрополитені радиоарнаны пайдалана алады.



3-сурет. Әзірленіп жатқан ұлттық цифрлық МЖАБ жүйесінің құрылымы

Талшықты-оптикалық байланыс желілері мен радиоарна бойынша деректерді беру жүйелерін пайдалану физикалық желіні (кабельдік және әуе), демек, құрамында мыс бар материалдарды ұрлауды болдырмау арқылы пайдалану шығындарын азайтуға мүмкіндік береді. МЖАБ жабдықталған учаскелерді диспетчерлік басқаруға беруге болады.

Өткізу қабілеттілігін арттыру.

Темір жол телімінің өткізу қабілеті деп оның техникалық сипаттамаларына және қозғалысты ұйымдастыру әдістеріне байланысты бір тәулікте осы телім арқылы өте алатын белгілі ұзындықтағы және салмақтағы жүк пойыздарының (поезд жұптарының) ең көп санына қатысты.

Темір жолдың бір жолды телімінің өткізу қабілеті белгілі бір дәрежеде сигнал беру, орталықтандыру және блоктау құрылғыларына байланысты, өйткені соңғылары пойыз аралық және бекет аралық интервалға әсер етеді.

Пойыздар қозғалысын параллельді ұйымдастырумен бір жолды шектеу учаскесінің максималды өткізу қабілетін есептеу формула [10] арқылы жүзеге асырылады:

$$N_{\max} = \frac{(1440 - t_{\text{mex}}) \cdot \alpha_n}{t_x + \Sigma \tau}, \quad (1)$$

мұндағы t_x – пойыздар жұбының (екі бағытта) шектейтін учаскесі бойынша таза жүру уақыты; t_{mex} – жоспарлы түрде құрылыс пен жөндеу жұмыстарына бөлінген тәуліктік уақыт көлемінің ұзақтығы, мин

Қолданыстағы механикаландыру құралдарымен және жұмыс технологиясымен t_{mex} өнімділікті есептеудегі мән бір жолды желілер үшін 75 минут, қос жолды кірістірулері бар желілер үшін – 90 минут, ал екі жолды желілер үшін – 150 минут қабылданады.

α_n – техникалық жабдықтың сенімділігін ескеретін коэффициент; $\Sigma \tau$ – пойыздар жұбының бекет аралық интервалын сақтау үшін үдеу және баяулауы, мин.

$$\Sigma \tau = \tau_{\text{nn}} + \tau_{\text{скр}} + \tau_{\text{рз}}, \quad (2)$$

мұндағы τ_{nn} – қарсы бағыттағы пойыздардың бір мезгілде мезгілде келмейтін аралығы; $\tau_{\text{скр}}$ – пойыздарды кесіп өту интервалы; $\tau_{\text{рз}}$ – пойызды үдету мен баяулату уақыт интервалы.

Екі жолды учаскенің өткізу қабілеті пойыздардың аралық бөлек пункттер арқылы бір жақты және тоқтаусыз қозғалысы бар әрбір жол үшін жеке анықталады:

– телім автоблокировка және диспетчерлік орталықтандыруды пайдаланған кезінде;

$$N_{\max} = \frac{(1440 - t_{\text{mex}}) \cdot \alpha_n}{J_p}, \quad (3)$$

мұндағы J_p – орнықтырылған бағыттағы пойыздар арасындағы есептелген аралық интервал.

– телім жартылай автоматты блокировка пайдаланған кезінде;

$$N_{\max} = \frac{(1440 - t_{\text{mex}}) \cdot \alpha_n}{t_{\text{зр}} + \tau_{\text{nc}}}, \quad (4)$$

мұндағы $t_{\text{зр}}$ – жүк пойызының аралықта шектеуші телім бойынша жүру уақыты, мин; τ_{nc} – пойыздардың бір бағыттағы жүруінің бекет аралық интервалы, мин.

Нәтижелер мен талқылаулар

Жоғарыда көрсетілген формулаларға сүйене отырып, орташа желіні кесіп өту көрсеткіштерін, жүру уақытын және т.б. жартылай автоматты блокировканың орнына

бір жолды телімде автоблокировканы енгізу өткізу қабілеттілігін арттыруға мүмкіндік береді.

$$(28,97+6+4+4)/(28,97+3+1+4)=16,2\%$$

Жартылай автоматты блокировканың орнына екі жолды телімге автоблокировканы енгізу арқылы телімнің өткізу қарқындылығының жоғарылауына әкеледі:

$$(15+9,2)/8=202,5\%.$$

Осылайша ұзындығы 3289,77 шақырым бір жолды жартылай автоматты блокировканың және ұзындығы 13250 шақырым екі жолды желілердің болуын ескере отырып, барлық желілердің 15887,29 шақырымды автоблокировкаға ауыстыру өткізу қабілеттілігін арттыруға мүмкіндік береді:

$$20,73\% \cdot 16,22 + 0,083\% \cdot 202,5\% = 3,5\%$$

Бұл ретте, формулалардан көрініп тұрғандай телімнің өткізу қарқындылығын есептеу барысында техникалық құралдардың (инфрақұрылым мен жылжымалы құрамның), оның ішінде белгі беру, орталықтандыру және блоктау құрылғыларының жұмысының сенімділігін ескеретін коэффициенттер қолданылады.

Нақты дереккөздерге сай сенімділік – бұл машиналардың, механизмдердің, құрылғылардың, құрылымдардың және т.б., олардың жұмыс сипаттамаларын қажетті уақыт аралығында сақтай отырып, белгілі бір функцияларды орындауға арналған қасиеті. Пойыздар қозғалысын басқару жүйесінде олардың сенімділік деңгейін сипаттау үшін екі негізгі көрсеткіш қолданылады: істен шығу ағынының параметрі және қалпына келтірудің орташа уақыты.

Қорытынды

«ҚТЖ» ҰК» АҚ желісіндегі ескірген ТЖАТ жүйелерінің жай-күйіне жүргізілген талдау бір-бірімен әлсіз интеграцияланған жабдықтардың тозуының жоғары деңгейін анықтауға мүмкіндік берді, бұл теміржол инфрақұрылымы жұмысының тиімділігінің төмендеуіне және вендорлық жеткізушілерге жоғары тәуелділікке және өткізу қабілетінің жеткіліксіздігіне әкеледі.

Отандық ТЖАТ-қа көшу технологиялық тәуелсіздікті арттыруға, жабдыққа қызмет көрсету және жаңғырту шығындарын азайтуға, сондай-ақ әртүрлі жүйелердің неғұрлым жоғары интеграциялану дәрежесін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Әзірленіп жатқан МЖАБ ұлттық цифрлық жүйесі цифрлық технологиялар мен зияткерлік алгоритмдерді пайдалану арқылы қауіпсіздіктің жоғары деңгейін қамтамасыз етеді, пойыздардың қозғалыс жылдамдығын арттыруға және теміржол желілерінің өткізу қабілетін арттыруға, сондай-ақ жабдыққа қызмет көрсету мен жөндеу шығындарын азайтуға мүмкіндік береді.

Осылайша, отандық ТЖАТ, оның ішінде МЖАБ жүйесін әзірлеу және енгізу Қазақстандағы теміржол тасымалдарының тиімділігі мен қауіпсіздігін арттыру үшін қажетті қадам болып табылады.

Алғыс айту, мүдделер қақтығысы

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті бағдарламалық-мақсаттық қаржыландыру шеңберінде қаржыландырады (грант № «BR28512103 Интеллектуалды басқару функциялары бар KZ-МЖАБ-МА цифрлық жартылай автоматты блоктаудың интеграцияланған үлестірілген модульдік жүйесін әзірлеу)

Авторлардың қосқан үлесі.

Сансызбай Қ.М. – Ұлттық цифрлық микропроцессорлық жартылай автоматты блокировка жүйесінің архитектурасын әзірлеу

Бахтиярова Е.А. – «Қазақстан темір жолы» ҰК» АҚ желісіндегі ТАТ құрылғыларының көрсеткіштеріне талдау жүргізу.

Чигамбаев Т.О. – Телімнің өткізу қабілеттілігін арттыру бойынша әдістерді ұсынды.

Әбдірашев Ө.К. – Мәліметтер жинақтап, тұжырымдама жасау.

Баданбекқызы З. – Талдау, визуализация, интерпретация, жазу, өңдеу.

Әдебиеттер тізімі

1. О мерах по реализации Послания Главы государства народу Казахстана от 1 сентября 2020 года «Казахстан в новой реальности: время действий» <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2000000413>

2. Концепция технической политики Акционерного общества «Национальная компания «Қазақстан темір жолы» и его дочерних организаций на 2025-2029 годы. Астана 2024, С. 9-14.

3. Техническая политика департамента автоматизации, телемеханики и телекоммуникаций на период с 2017 по 2022 гг. Астана, 2017.

4. Стратегия развития железнодорожной автоматизации магистральной сети АО «НК «ҚТЖ» (Согласно стратегии развития АО «НК «ҚТЖ» до 2029 г.). Астана, 2022. С. 5-19.

5. Kanibek Sansyzbay, Yelena Bakhtiyarova, Teodor Iliev, Laura Tasbolatova, Daniyar Sagmedinov. Method of Evaluation of the TETRA Standard Data Transmission Channel for Ensuring Information Security of the Railway Transport System. TEM Journal, 13(3), 2512-2521. DOI: 10.18421/TEM133-77 (https://www.temjournal.com/content/133/TEMJournalAugust2024_2512_2521.pdf).

6. Сансызбай К.М., Орунбеков М.Б., Шукаманов Ж.Е., Тасболатова Л.Т., Сагмедиев Д.Б. Общие тенденции развития систем железнодорожной автоматизации и телемеханики на сети железных дорог Казахстана // Вестник КазАТК. – 2022. – № 2 (121). – С. 414-424. DOI: <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2022-121-2-414-424>

7. Характеристики ремонтов, сроки службы и межремонтные сроки для основных устройств и оборудования в хозяйстве сигнализации и связи. ЦШ/554-10. Астана 2012 г.

8. Sansyzbay K.M., Kuandykov A.A., Bakhtiyarova Ye.A., Vlasenko S.V., Mamyrbayev O.Zh. Radio communication channel interaction method, maintaining train performance information security // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 31st March 2020. Vol.98. No 06. pp. 957-969. <http://www.jatit.org/volumes/Vol98No6/5Vol98No6.pdf>

9. Бахтиярова Е.А., Сансызбай К.М. Анализ рисков в случае неосуществления модернизации существующих систем в Республике Казахстан // Материалы всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Эффективность и безопасность электрических комплексов и систем автоматики и телемеханики на железнодорожном транспорте», Омский государственный университет путей сообщения, 28 ноября 2019г. С. 97-105. https://www.omgups.ru/science/conf/2019/docs/sb_eff_bez_2019.pdf

10. Нормативы численности работников дистанции сигнализации и связи акционерного общества «Национальная компания «Қазақстан темір жолы». №826-ЦЗ от 20.10.2017 г. Астана, 2017.

К.М.Сансызбай^{1*}, Е.А.Бахтиярова¹, Т.О.Чигамбаев², О.К. Абдирашев³, З.Баданбекқызы⁴

¹АО «Международный университет информационных технологий»

²АЛТ Университет имени Мухамеджана Тынышпаева

³НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева»

⁴Академия Гражданской авиации

Цифровая национальная микропроцессорная система полуавтоматической блокировки для увеличения пропускной способности железных дорог Казахстана

Аннотация. В статье рассматриваются актуальные проблемы, возникающие на железнодорожных станциях в связи с износом оборудования, увеличением транспортной нагрузки и ростом количества аварийных ситуаций. Анализ состояния систем сигнализации, централизации и блокировки показал, что их физический износ существенно превышает допустимые нормы и может привести к снижению безопасности движения поездов и пропускной способности.

Использование устаревших, слабо интегрированных систем и высокая зависимость от вендерных поставщиков требуют перехода на отечественные СЖАТ. В связи с этим разработка отечественных СЖАТ становится приоритетным направлением для обеспечения технологической независимости и повышения эффективности производства.

В статье приводятся показатели устройств ЖАТ на сети АО «НК «КТЖ», сравнительный анализ протяженности СИРДП и ПАБ, эксплуатируемые на магистральной сети РК, представлена структура разрабатываемой национальной цифровой системы МПАБ и расчеты пропускной способности. Разрабатываемая национальная цифровая система МПАБ на прямых участках перегонов при хорошем состоянии пути позволит увеличить скорость участка до 200 км/час. Результаты расчетов показывают, что внедрение системы автоблокировки на однопутной линии вместо ПАБ способствует увеличению пропускной способности на 16,2%, на двухпутной линии – на 202,5%, а замена полуавтоматической блокировки на автоматическую увеличит пропускную способность на 3,5%.

Ключевые слова: железнодорожная автоматика, телемеханика и связь; интервальное регулирование движения поездов; микропроцессорная полуавтоматическая блокировка; пропускная способность.

K.M.Sansyzbay^{1*}, Y.A.Bakhtiyarova¹, T.O.Chigambaev², O.K.Abdirashev³, Z.Badanbekkyzy⁴

¹Joint-Stock Company "International University of Information Technologies"*,

²ALT University named after Mukhamedzhan Tynyshpayev,

³L.N. Gumilyov Eurasian National University

⁴Academy of Civil Aviation

Digital national microprocessor-based semi-automatic interlocking system to increase railroad capacity in Kazakhstan

Abstract. The article deals with the current problems arising at railway stations due to the wear and tear of equipment, increasing traffic load and growing number of accidents. Analysis of the state of signaling, centralization and interlocking systems has shown that their physical wear and tear significantly exceeds permissible norms and can lead to a decrease in train traffic safety and throughput capacity.

The use of outdated, poorly integrated systems and high dependence on vendor suppliers require the transition to domestic RATS. In this regard, the development of domestically produced RATS. becomes a priority to ensure technological independence and improve production efficiency.

The article presents the indicators of RATS devices on the network of JSC "NC 'KTZh', a comparative analysis of the length of SIRDP and PAB operated on the main network of the Republic of Kazakhstan, the structure of the national digital MSAB system being developed and capacity calculations. Developed national digital system of MSAB on straight sections of crossings, at good condition of a way will allow to increase speed of a section up to 200 km/hour. Analysis of calculations shows that introduction of autoblocking on single-track line instead of SAB leads to increase of throughput capacity – 16,2%, introduction of autoblocking on double-track line instead of SAB leads to increase of throughput capacity – 202,5%, replacement of semi-automatic blocking by automatic blocking will increase throughput capacity by 3,5%.

Key words: railway automation, telemechanics and communication; interval train control; microprocessor-based semi-automatic interlocking; throughput capacity.

References

1. On measures to implement the Message of the Head of State to the people of Kazakhstan dated September 1, 2020 "Kazakhstan in a new reality: time for action" <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2000000413>
2. Concept of technical policy of Joint Stock Company "National Company 'Kazakhstan Temir Zholy' and its subsidiaries for 2025-2029. Astana 2024, pp. 9-14.
3. Technical Policy of the Department of Automation, Telemechanics and Telecommunications for the period from 2017 to 2022. Astana 2017
4. Strategy for the development of railway automation on the main network of JSC "NC "KTZ" (According to the strategy for the development of JSC "NC "KTZ" until 2029), Astana, 2022, pp. 5-19.
5. Kanibek Sansyzbay, Yelena Bakhtiyarova, Teodor Iliev, Laura Tasbolatova, Daniyar Sagmedinov. Method of Evaluation of the TETRA Standard Data Transmission Channel for Ensuring Information Security of the Railway Transport System. TEM Journal, 13(3), 2512-2521. DOI: 10.18421/TEM133-77 (https://www.temjournal.com/content/133/TEMJournalAugust2024_2512_2521.pdf).

6. Sansyzbay K.M., Orunbekov M.B., Shukamanov Zh.E., Tasbolatova L.T., Sagmedinov D.B. General trends in the development of railway automation and telemechanics systems on the railway networks of Kazakhstan. Bulletin of KazATK, No. 2 (121), 2022, pp. 414-424. DOI: <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2022-121-2-414-424>.

7. Characteristics of repairs, service lives and interrepair periods for major devices and equipment in the signaling and communications industry. TSH/554-10. Astana 2012.

8. Sansyzbay K.M., Kuandykov A.A., Bakhtiyarova Ye.A., Vlasenko S.V., Mamyrbayev O.Zh. Radio communication channel interaction method, maintaining train performance information security // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 31st March 2020. Vol.98. No 06. pp. 957-969. <http://www.jatit.org/volumes/Vol98No6/5Vol98No6.pdf>

9. Bakhtiyarova E.A., Sansyzbay K.M. Risk analysis in the case of failure to modernize existing systems in the Republic of Kazakhstan. Materials of the All-Russian scientific and technical conference with international participation "Efficiency and safety of electrical complexes and automation systems in railway transport," Omsk State University of Railway Transport, November 28, 2019, pp. 97-105 https://www.omgups.ru/science/conf/2019/docs/sb_eff_bez_2019.pdf

10. Norms of number of employees of the signaling and communication distance of the joint-stock company "National Company 'Kazakhstan Temir Zholy'. No. 826-CZ dated 20.10.2017. Astana 2017

Авторлар туралы мәлімет:

Сансызбай Қ.М. – PhD доктор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің «Киберқауіпсіздік» кафедрасының зерттеуші профессоры, Манаса көшесі 34 А, Алматы, Қазақстан, 8-701-283-55-23, k.sansyzbai@iitu.edu.kz

Бахтиярова Е.А. – т.ғ.к., Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар» кафедрасының меңгерушісі, Манаса көшесі 34 А, Алматы, Қазақстан, 8-707-347-36-10, y.bakhtiyarova@iitu.edu.kz

Чигамбаев Т.О. – т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, «Мұхамеджан Тынышпаев атын-дағы АЛТ университеті» акционерлік қоғамының «Жылжымалы құрам» кафедрасының меңгерушісінің м.а., Шевченко көшесі 97, Алматы, Қазақстан, 8-777-255-71-48, t.chigambayev@alt.edu.kz

Ө.К.Әбдірашев – «Ғарыштық техника және технологиялар» кафедрасының доцент м.а., PhD, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көшесі 2, Астана, Қазақстан, 8-702-682-16-92, omeke_92@mail.ru

З.Баданбекқызы – Филология ғылымдарының кандидаты, ЖАҚ доценті, Азаматтық авиация академиясының профессоры, «Азаматтық авиация академиясы» АҚ, Ахметова 44, 050039, Алматы, Қазақстан, zaure.badanbekkyzy.51@mail.ru

Сансызбай К.М. – PhD доктор, профессор-исследователь кафедры «Кибербезопасность», Международный университет информационных технологий, ул. Манаса, 34 А, Алматы, Казахстан, 8-701-283-55-23, k.sansyzbai@iitu.edu.kz

Бахтиярова Е.А. – к.т.н., заведующий кафедрой «Радиотехника, электроника и телекоммуникации», Международный университет информационных технологий, ул. Манаса, 34 А, Алматы, Казахстан, 8-707-347-36-10, y.bakhtiyarova@iitu.edu.kz

Чигамбаев Т.О. – к.т.н., ассоциированный профессор, и.о. заведующий кафедрой «Подвижной состав», Акционерное общество «АЛТ Университет имени Мухамеджана Тынышпаева», ул. Шевченко 97, Алматы, Казахстан, 8-777-255-71-48, t.chigambayev@alt.edu.kz

О.К. Абдирашев – PhD, и.о., доцент кафедры «Космическая техника и технологии», Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Сатпаева 2, Астана, Казахстан, 8-702-682-16-92, omeke_92@mail.ru

З. Баданбеккызы – кандидат филологических наук, доцент ЗАО, профессор Академии гражданской авиации, АО «Академия Гражданской авиации», Ахметова 44, 050039, Алматы, Казахстан, zaure.badanbekkyzy.51@mail.ru

Sansyzbay K.M. – PhD, Research Professor, Department of Cyber Security, International University of Information Technologies, 34 A Manas str., University of Information Technologies, 34 A Manas St., Almaty, Kazakhstan, 8-701-283-55-23, k.sansyzbai@iitu.edu.kz

Bakhtiyarova YA. – Candidate of Technical Sciences, Head of Department “Radio Engineering, Electronics and Telecommunications”, International University of Information Technologies, 34 A Manas str., Almaty, Kazakhstan, 8-707-347-36-10, y.bakhtiyarova@iitu.edu.kz

Chigambaev T.O. – Candidate of Technical Sciences, acting head of department “Rolling Stock”, Joint Stock Company “ALT University named after Mukhamedjan Tynyshpayev”, 97 Shevchenko str., Almaty, Kazakhstan, 8-777-255-71-48, t.chigambayev@alt.edu.kz

О.К. Abdirashev – PhD, acting, associate professor of the Department of Space Engineering and Technologies, Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, st. Satpayeva 2, Astana, Kazakhstan, 8-702-682-16-92, omeke_92@mail.ru

Z. Badanbekkyzy – Candidate of philological Sciences, Associate Professor of CJSC, professor of the Academy of Civil Aviation, Academy of Civil Aviation, Ahmetova 44, Almaty, 050039, Kazakhstan, zaure.badanbekkyzy.51@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/>).



ХҒТАР 55.51

Шолу мақала

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-150-1-162-172>

Темір жол крандарының конструкциялары мен ақауларына шолу

Г.Б. Хайытбаева*¹, Б.Т. Сазамбаева¹, А.Б. Болатова¹

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

(E-mail: gloriya_haitbae@mail.ru)

Аңдатпа. Бұл мақалада теміржол крандарының негізгі конструкциялары мен жұмыс принциптері, сондай-ақ олардың жиі кездесетін ақаулары қарастырылады және пайдалануға байланысты ақаулы актілерді талдау ұсынылған. Кран конструкцияларының негізгі элементтері, соның ішінде көтеру механизмдері, тірек-жүріс бөлігі, жебелер, басқару жүйелері және гидравликалық құрылғылар және қауіпсіздік жүйелері сипатталады. Пайдалану процесінде анықталған ең көп таралған ақауларға, мысалы, конструкциялық элементтердің тозуы, басқару жүйелері мен гидравликалық механизмдердегі ақаулар, сондай-ақ кранның шамадан тыс жүктелуіне немесе ұзақ уақыт пайдаланылуына байланысты зақымданулар ерекше назар аударады. Ақаулы актілерді талдау негізінде ақаулардың пайда болуының негізгі себептері анықталады. Мақалада ақаулардың алдын алу шаралары, оның ішінде техникалық қызмет көрсету мен операторлардың қауіпсіздік нұсқауларын орындау маңыздылығы атап өтіледі. Ақаулар туралы ақпарат жинау және статистиканы жинақтау маңызды рөл атқарады және конструкторларға, эксплуатациялық мамандарға, сондай-ақ теміржол крандарының қауіпсіз пайдалану нормативтерін әзірлеушілерге және қайта қараушыларға айтарлықтай пайдалы.

Түйін сөздер: теміржол крандары, құрылымы, жіктелуі, ақаулы актілер, статистика.

Түсті 04.02.2025. Жөнделді 13.03.2025. Мақұлданды 18.03.2025. Онлайн қолжетімді 31.03.2025

*1хат-хабар үшін автор

Кіріспе

Темір жол крандары, теміржол инфрақұрылымы объектілерінде жылжымалы құрамның түсу салдарларын жою кезінде жұмыстарды орындау үшін, сондай-ақ темір жолдардағы жасанды құрылыстарды қайта құру және тиеу – түсіру жұмыстары үшін пайдаланылатын маңызды техникалық құралдар болып табылады. Олар ауыр және ірі жүктерді тиімді және қауіпсіз тасымалдауды қамтамасыз етеді, бұл теміржол тасымалын ұйымдастыруда шешуші рөл атқарады[1].

Дегенмен, кез келген күрделі механикалық жабдықтар сияқты, теміржол крандары ұзақ мерзімді пайдалану, сыртқы факторлардың әсерінен немесе техникалық қызмет көрсетудің жеткіліксіздігінен туындауы мүмкін әртүрлі ақауларға ұшырайды. Бұл машиналардың сенімділігі мен қауіпсіздігін арттыру үшін жұмыс барысында анықталған ақаулар туралы ақпаратты үнемі жинап, талдау қажет.

Әдіснама

Бұл зерттеу жұмысы теміржол крандарының конструкцияларын шолуға, сондай-ақ ақаулы актілерді талдауға бағытталған, пайдалану процесінде мамандардың алдында тұрған негізгі проблемаларды анықтауға мүмкіндік береді.

Қазақстанның темір жолдарында, қайта тиеу пункттері мен станцияларда, сондай-ақ жөндеу жұмыстарын орындау үшін тиімді жұмысты қамтамасыз ететін темір жол крандарының түрлері пайдаланылады. "Қазақстан темір жолы" ҰК АҚ пайдаланатын крандардың негізгі түрлері (Кесте 1): ЕДК-300, ЕДК-500, ЕДК-1000, ЕДК-2000[2]. Германия және РФ өндірісінің КЖ-1572, КЖ-971 өндірісі. Германия өндіретін ЕДК крандарды TAKRAF комбинаты 1970-1990 жылдар аралығында шығарылды, осылайша крандардың бұл түрі 30-50 жылдан астам уақыт жұмыс жасап келеді [3].

1-кесте. "Қазақстан темір жолы" ҰК АҚ пайдаланатын крандардың негізгі түрлері

Теміржол жүрісіндегі крандардың атауы, түрі	шығарылған жылы	жүк көтергіштігі
ЕДК-500/1	1990	80 тонна;
ЕДК-2000	1980	250 тонна;
ЕДК-500	1980	80 тонна;
КЖ-1572	2012	150 тонна;
ЕДК-500	1973	80 тонна;
ЕДК-500/1	1986	150 тонна;
ЕДК-300/2	1989	60 тонна;
ЕДК-1000/4	1987	150 тонна;
ЕДК-1000/2	1983	150 тонна;
КЖ-971	2012	80 тонна

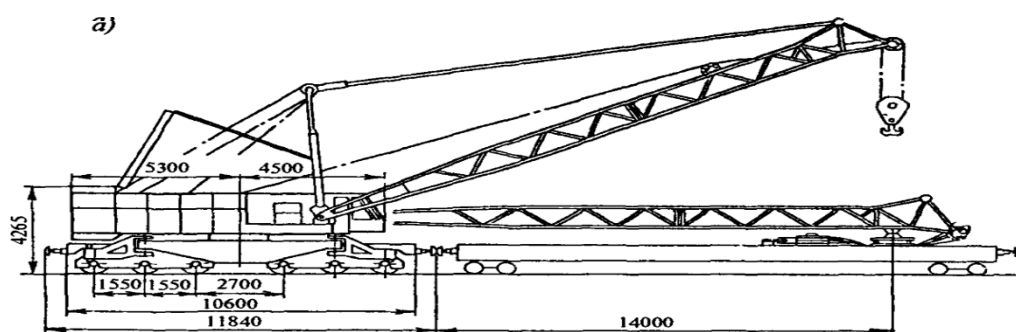


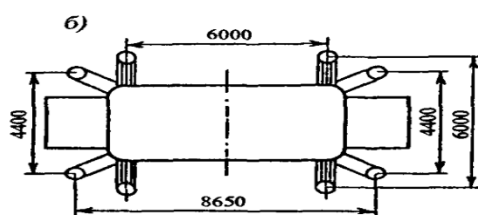
1-сурет. ЕДК-500 темір жол краны

Теміржол крандары екі негізгі бөліктен тұрады: айналмалы және қозғалмайтын. ЕДК типті крандар төрт негізгі механизммен жабдықталған: жүктің негізгі және қосалқы көтерілуі, жебенің ұзарып шығуының өзгеруі, негізгі және қосалқы бұрылу, сондай-ақ өздігінен жүретін қозғалыс. Сонымен қатар, ЕДК -1000 және ЕДК -2000 модельдері өздігінен жүретін жебе төсеу платформасымен және кранның өзінде орнатылған дизельді электр қондырғысы бар (противовес) қарсы салмақпен жабдықталған[4-6].

Тірек рамамен жабдықталған кранның айналмалы бөлігінде: тірек-айналмалы құрылғының жоғарғы бөлігі, бұрылу, жүкті көтеру механизмдері, жебенің ұзаруын өзгерту, консольдерді ұзарту; дизель-электр қондырғысы, аппараттық бөлігі бар басқару кабинасы, сондай-ақ полиспаст пен порталы бар жебе.

Кранның жүріс бөлігінде: тірек-айналмалы құрылғының төменгі бөлігі, аутригерлері мен жүріс арбалары бар жүріс жақтауы, тежегіш жүйесі, автотіркегіш және өздігінен жүретін механизм орналасқан. [7-8].





2-сурет. а) ЕДК 300 краны б) Тіректеріне орнату схемасы

Жеңіл және орташа теміржол крандарының жүк көтергіштігі 20-дан 30 тоннаға дейін, ал ауыр крандар 80-нен 250 тоннаға дейін. Олардың жүк моменттері сәйкесінше 800-5000 кН·м және 5000-25000 кН·м құрайды. Теміржол крандарының жебесінің ұзаруы 4-тен 28 метрге дейін өзгеруі мүмкін. Жебелер рельс жолының бойында орналасқан кезде крандардың жүк көтергіштігі сол тұрақтылық қорларында көлденең бағытта орналасқаннан шамамен екі есе жоғары. Көтерілу жылдамдығы минутына 1,15-тен 32 метрге дейін өзгереді[9].

Ұзаруын өзгерту механизмін қоспағанда, кранның барлық механизмдерінің жетегі электрлік болып табылады. Бұл механизмдер дизельді қозғалтқышы бар жеке генератордан немесе сыртқы ток көзінен жұмыс істейді. Теміржол крандарының рельс жолымен жүру жылдамдығы сағатына 60-тан 100 км-ге дейін.

Кранның айналу механизмі басқа айналмалы крандарға ұқсас. Айналу жылдамдығы үлкен жүк көтергіш крандар үшін 0,5 айн/мин (жүздеген тонна) және жеңіл крандар үшін 1,5 айн/мин дейін. Теміржол крандарының минималды ұзаруы 4 — тен 8 м-ге дейін, ал максимумы 22-ден 28 м-ге дейін өзгереді. Ұзарудың өзгеру уақыты 1-ден 6 минутқа дейін.

Теміржол крандары мамандандырылған теміржол платформаларында орнатылады. Көлік жағдайында кранның жебесі жабдық жиынтығына кіретін басқа платформаға салынады. Кран платформасы төрт-сегіз доңғалақ осьтеріне сүйенеді. Доңғалақ жұптары үш және төрт осьті теңгерім арбаларына топтастырылған. Оське максималды рұқсат етілген жүктеме 200 кН құрайды. Кран платформалары стандартты теміржол тіркемелерімен жабдықталған, бұл кранды пойыздың бөлігі ретінде ғана емес, сонымен қатар кіріктірілген қозғалыс механизмі мен стандартты пневматикалық жетекті тежеу жүйесінің арқасында локомотив ретінде пайдалануға мүмкіндік береді.



3-сурет. Темір жол кранының жүріс бөлігі

Теміржол крандарының өлшемдері МЕСТ 9238-83 стандарттарына сәйкес келуі керек. Теміржол жолдарының қисықтық радиусы кемінде 120 метр болуы керек. Теміржол крандарының массасы 60-тан 300 тоннаға дейін өзгереді. Бұл крандардың платформаларында гидравликалық тіректері бар төрт-сегіз айналмалы арқалықтар бар.

Кранды пайдалану кезінде ағаш жастықтар (шпал торлары) алдын-ала тіректердің астына қойылады, бұл жердегі орташа қысымды төмендетуге көмектеседі; рұқсат етілген қысым 0,15-0,2 МПа құрайды. Кранды жұмыс орнына орнатпас бұрын, топырақтың сипаттамалары туралы мәліметтер алу керек. Теміржол кранын орнату және жұмысқа дайындау процесі 0,5-тен 1,5 сағатқа дейін созылады[10-11].



4-сурет. а) ЕДК-500 кранының аутригерінің жалпы көрінісі мен ақау түрі

Нәтижелер мен талқылаулар

"Қазақстан темір жолы"АҚ Ұлттық компаниясы бойынша теміржол крандарының ақаулары мен істен шығулары туралы мәліметтер келтірілген.

Соңғы 2020-2024 жылдардағы теміржол крандарының ақаулары мен істен шығулары 1-кесте.

2-кесте. Теміржол крандарының ақаулары мен істен шығуы

Жыл	кран типі	ақаулар саны	жүріс бөлігі	электро жабдық	қозғалтқыш	Кран қондырғысы
2020	ЕДК-1000/1	178	91	24	38	3
2021	ЕДК-500	129	91	30	18	3
2022	ЕДК-1000/2	100	214	31	36	3
2023	ЕДК-500	154	79	19	14	3
2024	ЕДК-1000/2	186	87	88	8	3

Крандардың ұзақ қызмет ету мерзімі, әзірленген нормативтік қызмет мерзімі, қосалқы бөлшектердің болмауы аталған крандарды пайдалануда қиындықтарға әкеледі. Соңғы 2020-2024 жылдардағы теміржол крандарын техникалық тексеру нәтижелері бойынша алынған ақаулы актілерді талдау кезінде анықталған ақаулардың көп бөлігі "жүріс бөлігіне" (жалпы санының 72%), "электр жабдықтарына" (10,3%), "қозғалтқышқа" (8,4%), "кран қондырғысына" (8,6%), "жебе" (0,2 %) тиесілі екендігі анықталды.

Теміржол крандарының конструкцияларының негізгі мәселесі – барлық ақаулардың көп бөлігін құрайтын жүріс бөлігінің ақауы.



5-сурет. Теміржол краны ақауларының диаграммасы

Теміржол крандарының тірек-жүріс бөлігіндегі ақаулардың себептері әртүрлі болуы мүмкін және бірнеше факторларға байланысты. Негізгі себептері:

1. Бөлшектердің тозуы: Техникалық қызмет көрсетудің жеткіліксіздігі немесе шамадан тыс пайдалану тірек-жүріс бөлігінің мойынтіректері, дөңгелектері, рельстері және басқа да бөліктерінің тозуына әкеледі. Нәтижесінде дірілдеу мен қозғалыс бұзылыстары пайда болып, ақауларға себеп болуы мүмкін.

2. Материалдардың сапасының төмендігі: Егер кранның тірек-жүріс бөлігіндегі компоненттер сапасыз материалдардан жасалса, олар жұмыс кезінде тез бұзылып, әсіресе жоғары жүктемелер кезінде тез зақымдануы мүмкін.

3. Құрастырудағы қателіктер: Жеке бөліктердің дұрыс орнатылмауы немесе құрастырылмауы тірек-жүріс жүйесіндегі жүктемелердің дұрыс бөлінбеуіне әкеліп, бұл өз кезегінде зақымдарға алып келуі мүмкін.

4. Кранның артық жүктелуі: Кранның көтеру мүмкіндігінен асып кету оның тірек-жүріс бөлігінің зақымдануына әкеледі. Мысалы, артық жүктеме дөңгелектердің немесе осьтердің деформациялануына себеп болуы мүмкін, бұл кранның жұмыс тиімділігін төмендетіп, ақауларға жол ашады 6-сурет.

5. Эксплуатация ережелерінің бұзылуы: Қиын ауа-райы жағдайларында (мысалы, қатты аязда немесе ыстықта) немесе дұрыс пайдаланбау тірек-жүріс бөлігінің тез тозуына алып келуі мүмкін.

6. Коррозия: Сыртқы ортаның теріс әсері, әсіресе жоғары ылғалдылық немесе тұзды ауа (жаға маңындағы аймақтарда) металл бөлшектерінің коррозиясына әкеліп, оның жұмысын бұзуы мүмкін.

7. Техникалық қызмет көрсету жетіспеушілігі: Тозған бөлшектерді уақытында ауыстырмау немесе техникалық қызмет көрсетуді орындамау да ақаулардың себебі болуы мүмкін. Тірек-жүріс бөлігін үнемі тексеру, майлау және жөндеу ақауларды болдырмауға көмектеседі.

Осы барлық факторлар тірек-жүріс бөлігінде ақауларға әкеліп, бұл кранның қауіпсіздігі мен жұмыс тиімділігіне теріс әсер етуі мүмкін[12-13].

Ақаулардың алдын алу шаралары:

– техникалық қызмет көрсету, яғни уақытылы тексерістер мен профилактикалық қызмет көрсету ақаулардың алдын алады.

– қауіпсіздік нұсқауларын орындау: операторлардың дұрыс нұсқуларды орындауы, әсіресе жүктің көтерілетін көлемі мен салмағына қатысты.

– Жоғары сапалы материалдар мен компоненттер пайдалану: кранның барлық бөлшектері сапалы әрі, сенімді болуы тиіс.



6-сурет. Темір жол кранының жүріс арбаларындағы саңылау пластиналарының тозуы

Қорытынды

ҚР-да теміржол крандарын пайдалану бойынша материалдар жинау және ақпаратты талдау:

1. ҚР түрлі облыстарының теміржол станциялары қаралды, онда 30-50 жыл бойы пайдаланылып келе жатқан 60-қа жуық теміржол крандары пайдаланылады, олардың конструкцияларында елеулі ақаулар бар.

2. Негізгі ақаулар жүріс бөлігіне (72%), "электр жабдығына" (10,3%), "қозғалтқышқа" (8,4%), "кран қондырғысына" (8,6%), "жебеге" (0,2%) тиесілі екені анықталды.

3. Маңызды рөл атқаратын ақаулар туралы ақпарат жинау және статистиканы жинақтау конструкторларға, эксплуатациялық мамандарға, сондай-ақ теміржол крандарын қауіпсіз пайдалану деңгейін арттыру бойынша тиісті шаралар қабылдау үшін теміржол крандарын қауіпсіз пайдалану нормативтерін әзірлеушілерге және қайта қараушыларға айтарлықтай пайда әкеледі және одан әрі зерттеу үшін теориялық база жасайды.

Авторлардың қосқан үлесі

Хайытбаева Г.Б. – хат-хабар авторы ретінде авторлар ұжымының жұмысын үйлестірді және мақаланың кіріспе, негізгі бөлім және қорытындыны қамтитын негізгі бөлімдерін жазып, әдебиеттерге шолу жасады, редакциялады.

Сазамбаева Б.Т. – жұмыс нәтижелерін талдауға және түсіндіруге, мәтін жазуға және оның мазмұнын сыни тұрғыдан қайта қарауға, мәліметтердің дұрыстығына немесе мақаланың барлық бөліктерінің тұтастығына қатысты мәселелерді дұрыс зерттеуге және шешуге айтарлықтай үлес қосты.

Болатова А.Б. – мақалада келтірілген графиктер мен кестелерді дайындап, нәтижелерге талдау жасады.

Әдебиеттер тізімі:

1. Правила предоставления кранов на железнодорожном ходу, техники и других технических средств восстановительных поездов акционерного общества «Национальная компания «Қазақстан темір жолы». Нур-султан, 2019 г. - 20 с.

2. Петухов П.З. и др. Специальные краны: учебное пособие для машиностроительных вузов по специальности «Подъемно-транспортные машины и оборудование»/П. З. Петухов, Г. П. Ксюнин, Л.Г. Серлин - М.: Машиностроение, 1985. - 248 с.

3. Томилин И.П., Новиков Г.И. Краны типа ЕДК. Устройство и эксплуатация: учеб. пособие для техн. школ. – М.:УМК МПС России, 2000. - 157 с.

4. Jozef K, Martin M, Gabriel F, Vierošlav M. Failure analysis of increased rail wear of 200 tons foundry crane track. Volume 67, September 2016, Pages 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2016.05.032>. Engineering Failure Analysis.

5. Shuryin A, Mukhin A, Bryantsev A, Defects of steel crane beams and methods of their strengthening. E3S Web of Conferences 212, 02016 26 ноября 2020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021202016>

6. Отока А.Г., Холодилов О.В. Повышение безопасности железнодорожного крана ЕДК-2000 аварийно-восстановительного поезда путем своевременного выявления дефектов в пирамидальных опорных подставках // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2024. №1. DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2024.8-1.70>

7. Потахов Д.А. Система стабилизации платформы железнодорожного грузоподъемного крана // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. No 3. С. 160–167. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-160-167>.

8. Wei Zhao, Weiting Ning. Analysis and Research on Standard System and Technical Requirements of Jib Crane. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 692 2021. 022098 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/692/2/022098

9. Dawid Cekus, Renata Gnatowska and Paweł Kwiatóń. Impact of Wind on the Movement of the Load Carried by Rotary Crane. Appl. Sci. 2019, 9, 3842; doi:10.3390/app9183842

10. Romanello G. Stability analysis of mobile cranes and determination of outriggers loading. Journal of Engineering, Design and Technology. 2018. DOI: 10.1108/JEDT-05-2018-0084

11. Romanello G. A graphical approach for the determination of outrigger loads in mobile cranes. 2020. Mechanics Based Design of Structures and Machines 50(3)DOI:10.1080/15397734.2020.1726184

12. Wu, J., Guzzomi, A. L. & Hodkiewicz, M. Static stability analysis of non-slewing articulated mobile cranes, Australian Journal of Mechanical Engineering, Vol. 12, No. 1, February, 2014, pp. 60-76, <http://dx.doi.org/10.7158/M12-108.2014.12.1>.

13. Igor Lagerev, Alexander Lagerev, Vadim Tarichko. Modeling the swing of mobile loader cranes with anchor outriggers when operating on weak soils. E3S Web of Conferences 326, 00011. 2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132600011>.

Г.Б.Хайытбаева, Б.Т.Сазамбаева, А.Б.Болатова

Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Астана

Обзор конструкций и дефектов узлов железнодорожных кранов

Аннотация. В данной статье рассматриваются основные конструкции и принципы работы железнодорожных кранов, а также их частые неисправности и представлен анализ дефектных актов, связанных с эксплуатацией. Описаны основные элементы конструкций кранов, в том числе подъемные механизмы, опорно-ходовая часть, стрелы, системы управления и гидравлические устройства, а также системы безопасности. Особое внимание уделяется наиболее распространенным дефектам, обнаруженным в процессе эксплуатации, таким, как износ конструктивных элементов, неисправности систем управления и гидравлических механизмов, а также повреждения, связанные с перегрузкой или длительным использованием крана. На основании анализа дефектных актов выявляются основные причины возникновения дефекта. В статье подчеркивается важность мер по предотвращению неисправностей, включая техническое обслуживание и соблюдение правил безопасности операторов. Сбор информации о неисправностях и сбор статистики играют важную роль и в значительной степени полезны конструкторам, специалистам по эксплуатации, а также разработчикам и переработчикам нормативов безопасной эксплуатации железнодорожных кранов.

Ключевые слова: железнодорожный краны, конструкция, классификация, дефектные акты, статистика

G.B.Khaiytbayeva, B.T.Sazambayeva, A.B.Bolatova

L.N. Gumilyov Eurasian National University

Overview of designs and defects of railway cranes

Abstract. This article discusses the main structures and operating principles of railway cranes, as well as their common faults, and offers an analysis of fault reports related to their use. The key elements

of crane constructions, including lifting mechanisms, undercarriage, booms, control systems, hydraulic devices, and safety systems, are described. The most common faults identified during operation, such as wear of structural elements, faults in control systems and hydraulic mechanisms, as well as damage due to overloading or prolonged use, are given special attention. Based on the analysis of fault reports, the main causes of failures are identified. The article highlights the importance of preventive measures, including regular maintenance and adherence to safety guidelines by operators. Collecting fault information and compiling statistics plays a crucial role and is significantly beneficial for designers, operational specialists, as well as developers and reviewers of railway crane safety regulations.

Keywords: railway cranes, construction, classification, defective acts, statistics

References

1. Rules for the provision of cranes on the railway track, machinery and other technical means of recovery trains of the joint-stock company "National Company "Kazakhstan Temir Zholy". Nursultan, 2019 - 20 p.
2. Zheleznodorozhnyy gidravlicheskiy kran KZH-1572 (Railroad hydraulic crane KZH1572) Available at: <http://www.cranekirov.ru/ru/production/cranes/kzh-1572>
3. Tomilin I.P., Novikov G.I. Krany tipa EDK. Ustroystvo i ekspluatatsiya [EDK type cranes. Design and operation]: tutorial. Moscow: Ministry of Railways of Russia, 2011. 157 p.
4. Jozef K, Martin M, Gabriel F, Vierošlav M. Failure analysis of increased rail wear of 200 tons foundry crane track. Volume 67, September 2016, Pages 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2016.05.032>. Engineering Failure Analysis.
5. Shuryin A, Mukhin A, Bryantsev A, Defects of steel crane beams and methods of their strengthening. E3S Web of Conferences 212, 02016 26 ноября 2020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021202016>
6. Otoka A.G., Kholodilov O.V. Improving the safety of the EDK-2000 emergency recovery train railway crane by timely detecting defects in the pyramidal support stands // Journal of Civil Protection, Vol. 8, No. 1, 2024. DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2024.8-1.70>
7. Potakhov D. A. Railway crane platform stabilization system // VNIIZHT Scientific Journal. 2021. T. 80. No 3. C. 160–167. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-160-167>.
8. Wei Zhao, Weiting Ning. Analysis and Research on Standard System and Technical Requirements of Jib Crane. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 692 2021. 022098 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/692/2/022098
9. Dawid Cekus, Renata Gnatowska and Paweł Kwiatoń. Impact of Wind on the Movement of the Load Carried by Rotary Crane. Appl. Sci. 2019, 9, 3842; doi:10.3390/app9183842
10. Romanello G. Stability analysis of mobile cranes and determination of outriggers loading. Journal of Engineering, Design and Technology. 2018. DOI: 10.1108/JEDT-05-2018-0084
11. Romanello G. A graphical approach for the determination of outrigger loads in mobile cranes. 2020. Mechanics Based Design of Structures and Machines 50(3) DOI:10.1080/15397734.2020.1726184
12. Wu, J., Guzzomi, A. L. & Hodkiewicz, M. Static stability analysis of non-slewing articulated mobile cranes, Australian Journal of Mechanical Engineering, Vol. 12, No. 1, February, 2014, pp. 60-76, <http://dx.doi.org/10.7158/M12-108.2014.12.1>.

13. Igor Lagerev, Alexander Lagerev, Vadim Tarichko. Modeling the swing of mobile loader cranes with anchor outriggers when operating on weak soils. E3S Web of Conferences 326, 00011. 2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132600011>.

Информация об авторах:

Хайытбаева Глория Базарбаевна – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, «Көлік, көлік техникасы және технологиялары» білім беру бағдарламасының докторанты, Астана, Қазақстан.

Сазамбаева Баян Тоқушевна – техника ғылымдарының докторы, профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

Болатова Айнаш Болатовна – техника ғылымдарының кандидаты, доцент м.а, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

Хайытбаева Глория Базарбаевна – докторант образовательной программы 8D07113 «Транспорт, транспортная техника и технологии», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.

Сазамбаева Баян Тоқушевна – доктор технических наук, профессор, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.

Болатова Айнаш Болатовна – кандидат технических наук, и.о доцента, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.

Khaitbayeva Gloriya Bazarbaevna – doctoral student of the educational program 8D07113 - «Transport, transport technique and technologies», L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

Sazambayeva Bayan Tokushevna – Doctor of Technical Sciences, Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Volatova Ainash Bolavna – Candidate of Technical Sciences, 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 73.29.41

Ғылыми мақала

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-150-1-173-185>

Плазмалық шынықтыру кезінде құрылымдық болатта градиентті-қабатты құрылымның қалыптасуы

Т.Е. Сарсембаева*¹, А.Т. Канаев²

¹«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

(E-mail: tolkyn_adil@mail.ru)

Аңдатпа. Плазмалық шынықтыру процесіндегі конструкциялық болаттың құрылымдық ерекшеліктері зерттелді. Беттік аймақта жылдам қыздыру және салқындату кезінде шыңдалған аймақтың кесіндісінде аустенит түрленуінің ($\gamma \rightarrow \alpha$) әртүрлі механизмдерімен анықталатын градиентті-қабатты құрылым түзілетіні көрсетілген. Беттік аймақта диффузиясыз мартенситтік түрленудің дамитыны анықталды, бұл ине тәріздес мартенситтің пайда болуына әкеледі. Төменгі қабаттарда аустениттің ыдырауы диффузия процесімен және әр түрлі дисперстік дәрежедегі пластиналы феррит-карбидті қоспаның одан әрі түзілуімен бірге жүреді. Салқындату жылдамдығы неғұрлым жоғары болса, алынған феррит-карбидті қоспасы дисперсті болады, соғұрлым пластина аралық қашықтық аз болатыны көрсетілген. Бұл дисперсия дәрежесінің жоғарылауымен беріктік сипаттамаларының (беріктік – σ_b , қаттылығы – НВ) жоғарылауына, ал пластикалық сипаттамалардың (салыстырмалы ұзару – δ және жиырылуы – ψ) төмендеуіне әкеледі.

Болаттың беткі қабатында градиентті-қабатты құрылымның қалыптасуы мартенситті құрылымдардан троосто-мартенситті және аралас пластиналы құрылымдарға (троостит, сорбит) күрт өту шекарасының түзілуін жоюға мүмкіндік беретіні атап өтілген, оның көмегімен болаттың жанасу-шаршау беріктігін арттыруға болатын маңызды факторлардың бірі болаттың жарыққа төзімділігіне ықпал ете түседі.

Түйін сөздер: болатты доңғалақ, плазмалық шынықтыру, құрылымның қалыптасуы, түзілу механизмдері, біртекті емес құрылымдар, құрылымдардың дисперсиясы, механикалық қасиеттері.

Түсті 18.09.2024. Жөнделді 18.01.2025. Мақұлданды 04.02.2025. Онлайн қолжетімді 31.03.2025

*хат-хабар үшін автор

Кіріспе

Соңғы жылдары зерттеушілердің назары металдан жасалған материалдарды беріктендіретін әртүрлі термиялық өңдеудегі градиентті-қабатты құрылымдардың қалыптасуы мен даму заңдылықтарын тәжірибелік зерттеуге көбірек аударылуда.

Бұл олардың өзектілігін көрсетеді және бір жағынан градиент-қабатты құрылымдардың қалыптасуы мен дамуында жүретін процестердің физикалық табиғаты аз зерттелгендігімен түсіндіріледі, екінші жағынан градиент-қабатты құрылымдар болаттар мен қорытпаларға жаңа, бұрын белгісіз қасиеттер береді.

Атап айтқанда, плазмамен шыңдалған құрылымдық болаттың беткі қабатында градиентті-қабатты құрылымның қалыптасуы мартенситті құрылымдардан троостомартенситті және аралас пластиналы құрылымдарға (троостит, сорбит) күрт өту шекарасының қалыптасуын жоюға мүмкіндік беретіні атап өтілген). Бұл фактор негізгі болып саналады, ол болатты доңғалақтың контактілі шаршау беріктігі мен жарықшаларға төзімділік деңгейін арттыра алады.

Машиналар мен механизмдердің қатты жүктелген бөлшектері мен тораптарының тозуға төзімділігін және жанасу шаршауына төзімділігін арттыру үшін жүзеге асырылатын беттік плазмалық шынықтыру (қатайту) кезінде пайда болатын градиентті қабатты құрылымдар ерекше қызығушылық тудырады. Бұл көп жағдайда ішкі қабаттардағы бастапқы қасиеттерін сақтай отырып, бөлшектің ең көп жүктелген жұмыс бетін ғана нығайтқанда жергілікті термиялық өңдеудің техникалық және экономикалық тұрғыдан негізделгендігімен түсіндіріледі [1]. Плазма материалдың бетіне әсер еткенде, температура градиентінің әсерінен күрделі кернеу күйінің беткі қабаттарында пайда болуына әкелетін бірқатар физика-химиялық процестер жүреді. Жиынтықта бұл процестер өңделетін материалдың беткі қабатында көп қабатты құрылымның қалыптасуына ықпал етеді, бұл осындай құрылымның қалыптасу және даму ерекшеліктерін және болатты доңғалақтың тиісті физикалық-механикалық және қызметтік қасиеттерін зерттеуді қажет етеді. Теміржол тасымалының жоғары қарқындылығына, жылжымалы құрамның осьтеріндегі үлкен жүктемелерге, пойыздардың өсіп келе жатқан жылдамдығы мен массасына байланысты тозуға төзімділік пен контактілі шаршауға төзімділікті арттыру мәселесі үлкен практикалық маңызға ие болатынын ескеру қажет [2, 3].

Әдіснама

Химиялық құрамы 1-кестеде (ГОСТ 10791-2011) келтірілген 2-ші маркалы көміртекті болаттан жасалған тұтас илемделген доңғалақтары беттік плазмалық шынықтыруға ұшырады.

1-кесте. Болаттардағы химиялық қосылыстардың құрамы (%)

№	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cu
1	0,570	0,780	0,350	0,027	0,030	0,17	0,12
2	0,630	0,820	0,420	0,025	0,036	0,19	0,15

Беріктендіретін термиялық өңдеуге ұшыраған доңғалақ жиектерінің механикалық қасиеттері (ГОСТ 1497 бойынша σ , δ , Ψ) диаметрі 15 мм, есептік ұзындығы 60 мм үлгіде, соққы тұтқырлығы – ГОСТ 9454 бойынша 1 типті үлгілерде КСУ, 29430 Н жүктеме кезінде диаметрі 10 мм шармен ГОСТ 9012 бойынша қаттылық – НВ) 2 кестеде келтірілген.

2-кесте. Болаттың механикалық қасиеттері

№ п/п	σ , Н/мм ²	δ , %	Ψ , %	КСУ. Дж/см ²	20 мм тереңдіктегі НВ	жиектегі НВ
1	1017	15,0	32	0,34	258	267
2	1100	12,5	21	0,37	285	296

Доңғалақ жотасының жұмыс бетінен сырғанау бетіне өту аймағы плазмалық беріктендіруге ұшырады. Болат құрылымын нығайту шекарасының ені 25-26 мм жотаның жоғарғы жағынан 2-3 мм аралықта басталады. Бұл ретте плазмалық беріктендірудің режимі келесідей: тоқ күші 275 А, электр доғасының кернеуі 120 В, доға қуатының номиналды мәні 35 кВт, қорғаныс газының шығыны 5 л /мин, беріктендіру кезіндегі айналу жиілігі 0,143 айн/мин (доңғалақтың толық айналымы үшін 7,0 – 7,2 мин).

Макроскопиялық зерттеулер азот қышқылының 25% сулы ерітіндісімен өңдеуден кейін көлденең шаблонда жүргізілді. Микроскопиялық зерттеулер x200 үлкейту кезінде «Neophot» оптикалық микроскоптың көмегімен сегменттен көлденең бағытта кесілген микрошлифтерде беріктендірілген қабатты сақтау шартымен жүргізілді. Электронды микроскопиялық зерттеулер JeolJEM 2100 электронды микроскопында жүргізілді. Микроқұрылымды, беріктендіру тереңдігін, жотаның көлденең қимасы бойынша микроқаттылықтың таралуын, беріктендірілген беттердің сапасы зерттелді.

Шыңдалған қабаттың микроқаттылығын өлшеу ГОСТ 9450-2006 «Алмаз ұштарын бастыру арқылы микроқаттылықты өлшеу» талаптарына сәйкес 1,962 Н (200 гс) жүктеме кезінде ПМТ-3 қатты өлшегіште өңдеуге дейін микрошлифте жүргізілді.

Электронды-микроскопиялық зерттеуде репликаларды мұқият дайындауға ерекше назар аударылды. Бұл жағдайда ең маңызды сәт металлографиялық шлифтердің репликаларын металды электролиттік еріту арқылы бөлу болып табылады. Үлгіні еріту репликада сызаттар мен кесулерден басталады. Нәтижесінде көміртекті пленка жуылады және қабығы аршылады.

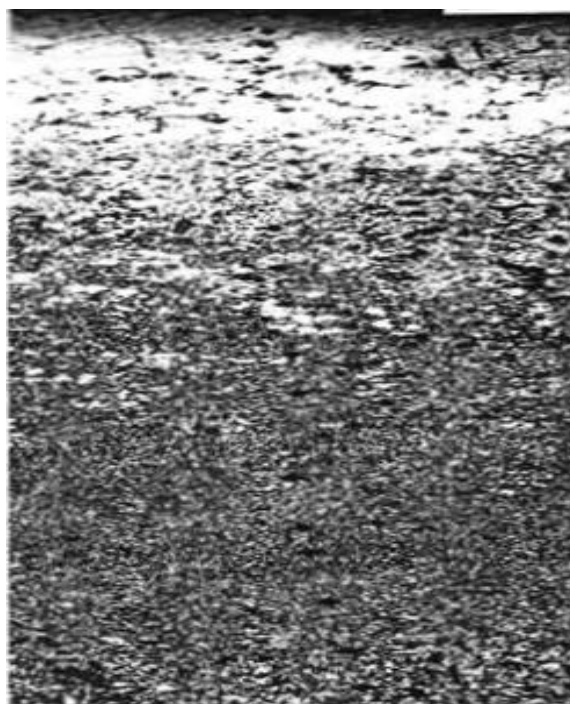
Электролиттік әдісті қолданған кезде, құймадан бөліну процесі үлгідегі газдардың бөлінуімен де бастамасын алады. Қатты газ шығарумен бірге жүретін пленканы бөлудің тым қарқынды процесі репликаның жыртылуына және бұзылуына әкелуі мүмкін, әсіресе өрескел рельефті тегістеу кезінде. Құйманы бөлу тәртібі үлгінің құрылымына байланысты. Осылайша, бір қорытпаның өрескел және ұсақ дисперсті құрылымдары құйманы бөлудің әртүрлі режимін қажет етеді. Қорытпа құрамының өзгеруі, сонымен қатар бөлу режимін өзгерту қажеттілігін тудырады. Осылайша, болаттың құрамындағы көміртегі мөлшерінің жоғарылауы қайталама цементит торының пайда болуымен байқалады, бұл цементит учаскелері оның жуылуын тоқтататындықтан, құйманың бөлінуінде асқынуға әкеледі. Үлгіні электролиттік еріту арқылы репликаны бөлу

кезінде болаттағы дисперсті карбидтердің өте көп саны пленка астында ерімеген карбид бөлшектерінің цементтелген қабатының пайда болуына ықпал етуі мүмкін, бұл пленканың қалыпты бөлінуіне жол бермейді [4, 5].

Нәтижелер және талқылау

1-суретте жоғарыда көрсетілген режим бойынша беттік плазмалық қатайту кезінде пайда болған тұтас илектелген доңғалақты Болаттың градиент-қабатты құрылымы келтірілген.

Мартенсит →
 Мартенсит+ троостит →
 Троостит + сорбит →
 Сорбит + перлит →
 Перлит →
 Бастапқы құрылым →



1-сурет. Беріктендірілген аймақта градиентті-қабатты құрылымы

3-кестеде плазмалық-термиялық әсер ету аймағына байланысты микроқаттылықтың өзгеруі (мкм) көрсетілген.

3-кесте. Қатайтылған қабаттың тереңдігі бойынша құрылым мен микроқаттылықтың өзгеруі

Беткейден қашықтық, мкм	Микроқаттылық, HV ₀₂	Микроқұрылым	Беткейден қашықтық, мкм	Микроқаттылық, HV ₀₂	Микроқұрылым
50	872	Пластиналы мартенсит	1100	425	Троостит
100	850		1200	460	
150	800		1400	403	
200	803		1500	380	
300	764		1600	323	Сорбит + перлит

400	585	Пластиналы мартенсит + троостит	1800	301	Перлит + феррит
500	580		1900	290	
600	550		2200	272	
700	546		2400	260	
800	536		2700	263	
950	500		2900	261	

Кесте 3 көріп отырғанымыздай, микроқаттылықтың өзгеруі $872 HV_0 - 261 HV_{02}$ диапазонында болады. 0,05-0,30 мм тереңдікте микроқаттылығы $871-764 HV_{02}$ мартенситті құрылым, 0,40-1,00 мм тереңдікте, $585-500 HV_{02}$ микроқаттылығы бар троосто-мартенситтік құрылым байқалады. Содан кейін микроқаттылығы $500-403 HV_{02}$ 1,00-1,40 мм тереңдікте болаттың трооститті күйі 1,40-2,20 мм тереңдікте сорбиттік күйге $397-272 HV_{02}$, содан кейін негізгі металдың күйіне тән микроқаттылығы $260-263 HV_{02}$ болатын феррит-перлит күйімен жалғасады.

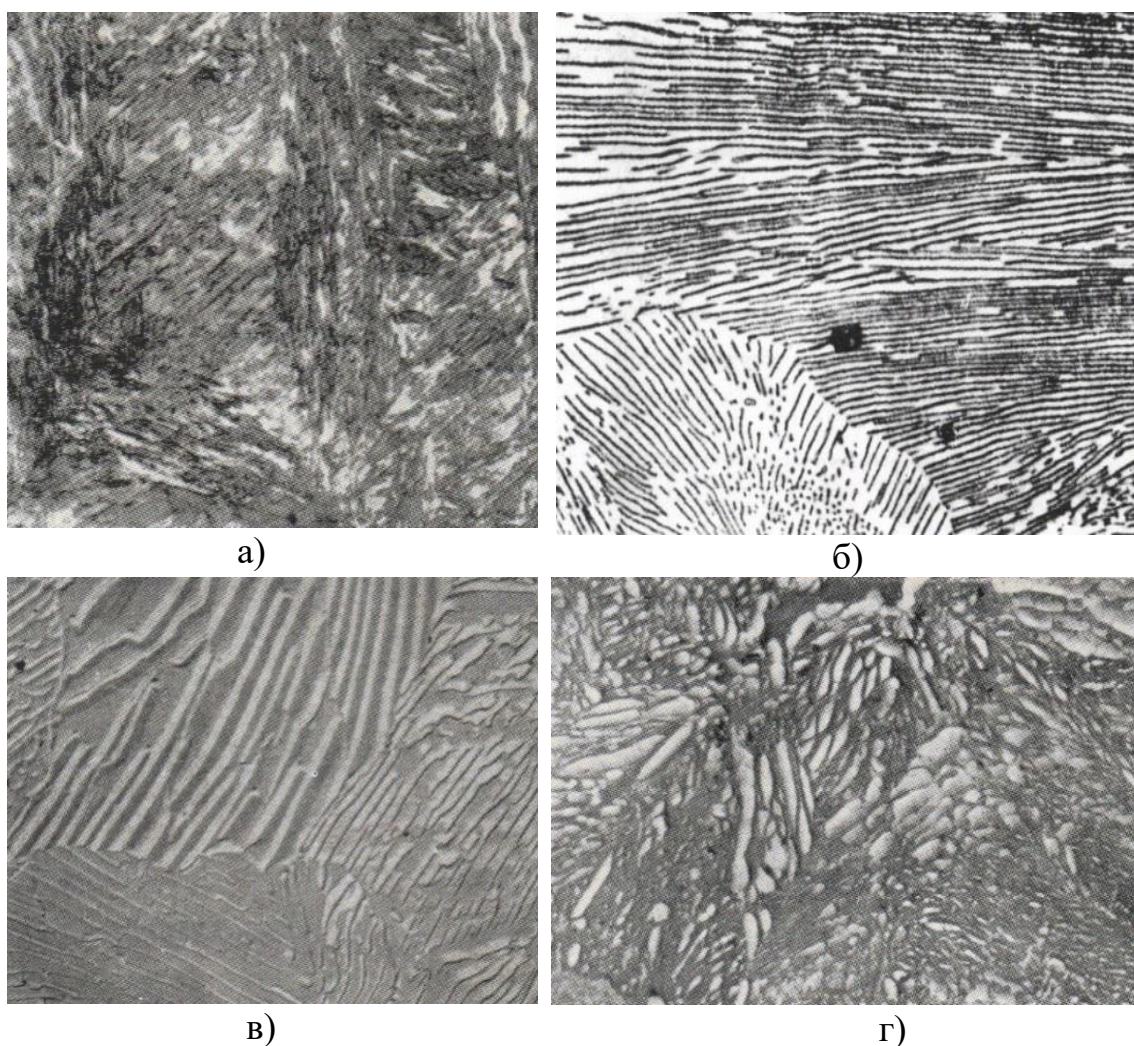
Айта кету керек, жоғары жылдамдықты үздіксіз салқындату кезінде екі фазалы құрылымдардың (троостит, сорбит немесе перлит) түзілу процестерін ажырату мүмкін емес, өйткені салқындатылған өнімнің көлденең қимасы бойынша температураның өзгеру жылдамдығы тұрақты болып қалмайды. Шындығында трансформация процестері температура мен даму уақыты бойынша бірінің үстіне бірін қосады, бұл әдетте мартенсит + троостит, троостит + сорбит немесе сорбит + перлит түріндегі аралас құрылымдардың түзілуіне әкеледі. (1-сурет).

Берілген құрылымдардан және тәжірибелік мәліметтерден (1-сурет және 1-кесте) қатаю тереңдігінде әртүрлі микроқаттылықтағы бірнеше құрылымдық аймақтардың түзілуі анық байқалатыны анық. Металлдың жоғарғы қабаттарында өзінің химиялық құрамы бойынша көміртегінің мөлшері 0,57-0,63% болатын болатқа сәйкес келетін аймақ бар. Күрт салқындаған кезде ол 5-15 мкм дисперсиямен ине тәрізді мартенситке айналады. Одан кейін аустениттің троосто-мартенситке айналу тереңдігі $\sim 0,6$ мм болатын аймақ келеді. Бұл күйлердің микроқұрылымында жылу қабатының тереңдігіне байланысты аустениттің аздаған қалдық мөлшерінің болуы байқалады.

Одан кейін ($\sim 0,4$ мм) троостит қабаты пайда болады, бұл қабатта микроқаттылық төмендейді және қалыптасқан фазалардың көлемдік құрамына байланысты болады; содан кейін құрылымда шамамен 0,8 мм тереңдікте сорбит пайда болады. Пайда болған сорбиттің орналасу аймағы бұрынғы аустенит түйірлерінің орталық аймақтарымен анықталады, олардағы феррит пен цементит компоненттерінің трооститпен салыстырғанда аз дисперсиясымен және микроқаттылығы төмен, бұл сонымен қатар құрамындағы фазалардың көптігіне байланысты.

Үлгінің тереңінде бұрынғы аустенит түйірлерінің шекараларының түйіскен жерінде перлит пайда болады және оның мөлшері біртіндеп арта түседі. Құрылым перлит-сорбитті болып қалады, содан кейін феррит-перлитке тегіс өтеді. Жалпы микроқаттылық бастапқы деңгейге дейін төмендейді. Бастапқы күй – бұл феррит пен перлит дәндерінің қоспасы, әр фазаның үлкен үлесі сәйкесінше 20-80% құрайды.

Сорбит пен трооститтің екі фазалы құрылымы тек электронды микроскопта анықталады, өйткені бұл құрылымдардың қабатаралық қашықтығы оптикалық микроскоптың рұқсат ету шегінде (~ 0,2 мкм) болады. 2-в және 2-с суреттерінде электронды микроскоптың көмегімен түсірілген x5000 үлкейту кезінде сорбит пен трооститтің фотосуреттері көрсетілген. Бұл құрылымдық аймақтардың екеуі де феррит пен цементиттің ауыспалы тақталарынан тұратыны анық көрінеді.



2-сурет. Үздіксіз салқындату кезінде аустениттің ыдырауының құрылымы (а – мартенсит, x1000); (б- перлит, x1000); (в – сорбит, x5000); (г- троостит, x5000);

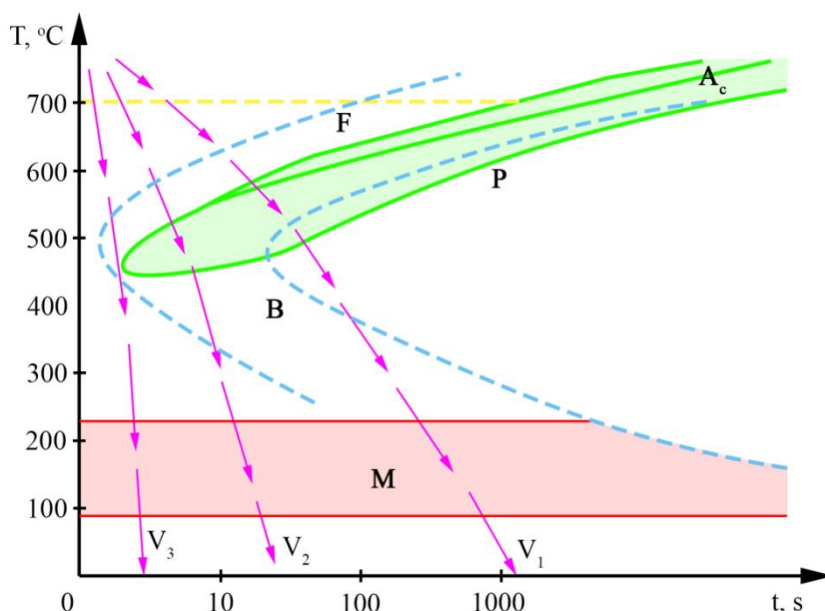
ГОСТ 10791-2011 бойынша 2-дәрежелі доңғалақ болатының аналогы болып табылатын гипозвтектоидты көміртекті болаттың (0,59-0,63% С) типтік термокинетикалық диаграммасы негізінде градиентті-қабатты құрылымның кинетикасы мен қалыптасу заңдылықтарын қарастырайық (сурет). 3). Тұтас сызықтар аустениттің үздіксіз салқындату кезінде ыдырауына (термокинетикалық), нүктелі сызықтар аустениттің тұрақты температурада (изотермиялық) ыдырауына сәйкес келеді [6].

Мартенситтік нүктесінен Mn (~2600C) жоғары температуралардағы термокинетикалық диаграмма тек бір кинетикалық максимуммен сипатталатынын көруге болады, бұл аустениттің ыдырауының аралық механизмінің жоқтығын білдіреді (диаграмманың көлеңкеленбеген бөлігі). Жоғарыда көрсетілген температураларда аустениттің ыдырауы диффузия арқылы жүреді және дисперсия дәрежесі әртүрлі феррит-карбид қоспасының түзілуімен бірге жүреді. Дисперсиялық дәрежесіне байланысты феррит-карбид қоспасы перлит, сорбит немесе троостит деп аталады, бұл қоспаның П, С және Т-ге бөлінуі шартты және бұл құрылымдар арасында нақты шекара жоқ екенін атап өткен жөн.

Сурет 3-те аустенитті V3 (критикалық қатаю жылдамдығы) және одан да жоғары жылдамдықпен салқындатқанда пластиналы мартенсит түзілетіні көрінеді. Төмен салқындату жылдамдығы V2 кезінде аса салқындатылған аустенит троосто-мартенситке айналады: түрлендіру ішінара перлит (диффузия), ішінара мартенситтік (диффузиясыз) механизммен жүреді. V1 одан да төмен салқындату жылдамдығында трансформация перлит пен сорбиттің екі фазалы құрылымдарының түзілуімен диффузиялық механизм бойынша дамиды [7].

Сонымен қатар, термокинетикалық диаграмма аустениттің бейниттік құрылымдардың пайда болуымен түрленуінің аралық механизмін жүзеге асыру мүмкін еместігін көрсетеді (жоғары салқындату жылдамдығына байланысты көміртек атомдарының қайта бөлінуі іске аспайды), сондықтан бұл жағдайда трансформация не перлиттік механизм бойынша (салқындату жылдамдығы V1, V2), не аралас перлит-мартенситпен (V2 және V3 арасындағы салқындату жылдамдығы) немесе мартенситтік механизм бойынша дамиды.

Перлиттің де, мартенситті де түрлендірулердің негізі аустениттің бет-центрленген кристалдық торының тепе-теңдіктің көлемді-центрленген торына немесе аса қаныққан ферритке ($\gamma \rightarrow \alpha$) полиморфты ауысуы екенін байқауға болады.



2-сурет (0,60-0,65 % C) құрылымдық болаттардан аса суыған аустенитінің ыдырау диаграммасының схемасы [6]

2-суреттегі үзік сызықтар аустениттің изотермиялық түрленуіне, тұтас сызықтар үздіксіз салқындату кезіндегі түрленуге сәйкес келеді (термокинетикалық диаграмма). Изотермиялық жағдайда және тұрақты салқындату процесінде аустениттің түрлену кинетикасының бір мезгілде көршілес болуы термокинетикалық диаграммалардағы сызықтар изотермиялық диаграмманың оң және төменгі жағында орналасқанын көрсетеді. Бұл салқындатылған аустениттің тұрақты салқындатудағы тұрақтылығының әлдеқайда жоғары екенін және түрлену асқын салқындатылған аустениттің изотермиялық ыдырау жағдайына қарағанда төмен температурада жүретінін көрсетеді.

Бұл процесс тәжірибеде конструкциялық болаттардың маңызды құрылымдық сипаттамасы болып табылатын пластина аралық қашықтықта көрінеді. Пластиналар арасындағы қашықтық перлиттік құрылымдардағы іргелес феррит пен цементит плиталарының қалыңдығының орташа қосындысы болып табылады. Осылайша, салқындату жылдамдығы неғұрлым жоғары болса, соғұрлым пластина аралық қашықтық азырақ және алынған феррит-карбид қоспасы неғұрлым дисперсті болса, соғұрлым болаттың микроқаттылығы (қаттылығы) жоғары болады [8, 9].

Атап өткендей, құрылымдық қайта түрленулерді талдау кезінде феррит-цементиттік құрылымдардың перлитке, сорбитке немесе трооститке бөлінуі шартты және әдетте, бұл құрылымдар арасында нақты шекара жоқ екенін есте ұстаған жөн. Өйткені, іс жүзінде таза троостит, сорбит немесе перлиттің пайда болу процестерін ажырату мүмкін емес, тұрақты салқындату процесінде салқындатылған өнімнің көлденең қимасы бойынша температураның өзгеру жылдамдығына байланысты ол өзгермелі және сыналатын болаттың термофизикалық қасиеттеріне байланысты белгілі бір заң бойынша өзгереді. Сондай-ақ, перлиттен айырмашылығы, сорбит және троостит тепе-теңдік компоненттері емес. Қолданыстағы өндіріс жағдайында салқындату, әдетте, тепе-теңдік емес және бұл сорбит пен троостит ферритінің көміртегімен белгілі бір асқын қанығуына әкеледі, бұл кейіннен механикалық қасиеттерге әсер етуі мүмкін. Атап айтқанда, перлит, сорбит немесе троостит құрылымдары бар болаттың механикалық қасиеттері феррит пен цементит арасындағы бөлу бетінің ауданына тура пропорционалды. Сондықтан аустениттің ыдырау температурасының төмендеуімен және құрылымның тиісінше ұсақталуымен (дисперсиялылық дәрежесінің күшеюі) ферриттік пластинкалар көміртегімен біршама шамадан тыс қанығады, беріктік сипаттамалары (беріктігі – σ қаттылығы – НВ) артады, ал пластикалық сипаттамалары (салыстырмалы ұзаруы – δ және тарылуы – ψ) азаяды [10, 11].

1-суретте келтірілген микроқұрылымдар перлиттіге мартенситтік түзілімнің салынғанын көрсетеді. Осылайша, 5500С-4600С ~ температуралық аралықта V2 салқындату жылдамдығы кезінде аустениттің бір бөлігі диффузиялық механизммен трооститке айналады, қалған бөлігі Mn (~ 2600С) нүктесінен төмен диффузиясыз мартенситке өтеді. Келтірілген және басқа да осыған ұқсас мысалдар әртүрлі жылдамдықпен салқындату кезінде құрылымдардың түзілуін эксперименталды зерттеу қарапайым міндет емес екенін көрсетеді, өйткені ол бірнеше факторларға байланысты: ең алдымен салқындату жылдамдығына, кинетикаға және дамудың температуралық шарттарына. белгілі бір түрлендіру кезінде олар белгілі бір шектерде өзгеруі мүмкін. Түрлену тек бір механизм

арқылы жүзеге асатын температура шекараларын болжау және троостит, сорбит немесе перлиттің құрылымдық аймақтарын нақты шектеу әрқашан мүмкін емес. Шындығында түрлену процестері температура мен даму уақыты бойынша бір-бірімен қабаттасуы мүмкін, бұл аралас пластина тәрізді құрылымдардың пайда болуына әкеледі [12, 13].

Қорытынды

1. Плазмалық беріктендірілген болаттың беткі аймағында жоғары жылдамдықты қыздыру және салқындату кезінде беріктендірілген аймақтың қимасында аустениттің ($\gamma \rightarrow \alpha$) түрленуінің әртүрлі механизмдерімен анықталған градиентті қабатты құрылым пайда болатындығы көрсетілген. Сонымен қатар, қажетті механикалық қасиеттер кешенін (беріктік, қаттылық, икемділік және қаттылық) қамтамасыз ету тұрғысынан металдың оңтайлы құрылымы жоғары дисперсті мартенсит, троосто-мартенсит және сорбит ұсынылған біртекті емес аралас құрылым болып табылады.

2. Термокинетикалық диаграммаға негізделген микроқұрылымды талдау және термиялық аймақтың көлденең қимасы бойынша микроқаттылықтың пайда болуы болатты доңғалақты беттіктермиялық беріктендіру кезінде мартенситті және перлиттік түзіліс градиентті-қабатты құрылымның пайда болуымен жүретінін көрсетеді. Беткі аймақта диффузиясыз мартенсит түзілімі дамып, ине тәріздес мартенситтің пайда болуына әкеледі. Төменгі қабаттарда аустениттің ыдырауы диффузия арқылы жүреді және дисперсия дәрежесі әртүрлі пластиналы феррит-карбид қоспасының пайда болуымен бірге жүреді.

3. Салқындату жылдамдығы неғұрлым жоғары болса, алынған ферритті-карбид қоспасы дисперсті болады, пластиналар арасындағы қашықтық соғұрлым аз болады. Сондықтан құрылымның дисперсия дәрежесінің жоғарылауымен беріктік сипаттамалары (беріктігі - σ_b қаттылық - HV) артады, ал пластикалық сипаттамалар (салыстырмалы ұзару - δ және тарылу- ψ) төмендейді.

4. Плазмалық беріктендірілген болатты доңғалақтың беткі қабатында градиентті қабатты құрылымның қалыптасуы мартенсит құрылымдарынан троосто-мартенсит және аралас пластиналық құрылымдарға (троостит, сорбит) күртауысудың шекарасының пайда болуын болдырмауға мүмкіндік беретіні атап өтілді, бұл болатты доңғалақтың жанасу-шаршау беріктігін арттыратын және оның жарыққа төзімділігіне ықпал ететін маңызды факторлардың бірі болып табылады.

Алғыс. Мақаланың материалдары Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ техника ғылымдарының докторы, «Стандарттау, сертификаттау және метрология» кафедрасының профессоры А.Т. Қанаевпен бірлесіп дайындалды.

Авторлардың қосқан үлесі.

А.Т. Қанаев осы мақаланың мәтінін жазуда елеулі зияткерлік үлесін қосқан.

Т.Е. Сарсембаева, деректер жинады, оларды талдаумен және жұмыс нәтижелерін түсіндірумен айналысты. Сондай-ақ, автордың қосқан үлесі мақаланың мазмұнын, оның

дизайнын қайта қарау және мақаланың соңғы нұсқасын жариялау үшін бірлесіп бекіту болып табылады.

Әдебиеттер тізімі

1. Коваленко В.В., Козлова Э.В. Физическая природа формирования и эволюции градиентных структурно-фазовых состояний в сталях и сплавах. Новокузнецк: ООО «Полиграфист». – 2009. - 557 с.
2. Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса / перевод с англ. У. Харрис, С. Захаров, Д. Ландгрэн и др. - М.: Интекст. - 2002. - 416 с.
3. IX Всемирный конгресс по скоростному железнодорожному движению, Токио, 2015 // Железнодорожный транспорт. - 2016. - № 4. Высокоскоростное движение – будущее железнодорожного транспорта (urfu.ru)
4. Рюле М., Уилкенс М. Просвечивающая электронная микроскопия// «Физическое металловедение», том 1, Перев. с английского под редакцией Абрамова О.В. и Копецкого Ч.В. – М.: Металлургия. – 1997. - 640 с.
5. Спенс Дж. Экспериментальная электронная микроскопия высокого разрешения. Пер. с английского. – М.: Наука. - 1996. - 320 с.
6. Металлография железа. Т. 1 «Основы металлографии», перев. с англ. Изд-во «Металлургия». - М.: - 1972. - 240 с.
7. А.Т. Канаев, Т.Е. Sarsembaeva, М.А. Saidullaeva. Formation of Gradient-Foliated Structures under High-Temperature Thermomechanical Treatment and Surface Plasma Quenching of Carbon Steel. ISSN 0967-0912, Steel in Translation, 2021, Vol. 51, No. 9, pp. 677–682. © Allerton Press, Inc., 2021. Russian Text © The Author(s), 2021, published in *Steel*. – 2021. No. 9. pp. 51–55.
8. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. – М.: Металлургия. – 1984. - 360 с.
9. Тушинский Л.И. Структурная теория конструктивной прочности материалов. - Новосибирск, Изд-во НГТУ. - 2004. - 400 с.
10. Исакаев Э.Х., Ильичев М.В., Тюфтев А.С. Особенности структурообразования и формирования свойств при плазменной обработке углеродистой стали // *Сталь*. – 2003. № 2. С. 52-55.
11. Савицкий А.И., Бахрах С.Б., Завизиан Н.Ф. Влияние плазменной обработки на структуру и механические свойства поверхностного слоя металлов // *Сварочное производство*. – 1993. № 11. с. 10-11.
12. Польшин А.Н., Болотина Н.П., Боль А.А. и др. Новые материалы и технологии, Теория и практика упрочнения материалов в экстремальных условиях. - Новосибирск, Наука, Сибирская издательская фирма. - 1992. - 200 с.
13. А. Канаев, D. Orynbekov. Gradient layer structure formation During plasma treatment of wheel steel. International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD). ISSN (P) 2449-6890; ISSN (E) 2249-8001; Vol 10, Issue 3, Jun 2020. pp. 457-466.

Т.Е.Сарсембаева*¹, А.Т.Канаев²

¹НАО «Казакский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина»,
Астана, Казакстан

²Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казакстан

Формирование градиентно-слоистой структуры в конструкционной стали при плазменной закалке

Аннотация. Исследованы структурные особенности конструкционной стали в процессе поверхностного плазменного упрочнения. Показано, что при скоростном нагреве и охлаждении в поверхностной зоне формируется градиентно-слоистая структура, определяемая различными механизмами превращения аустенита ($\gamma \rightarrow \alpha$) в сечении закаленной зоны. Установлено, что в поверхностной зоне развивается бездиффузионное мартенситное превращение, которое приводит к образованию игольчатого мартенсита. В нижних слоях распад аустенита сопровождается процессом диффузии и в дальнейшем образовании пластинчатой феррито-карбидной смеси разной степени дисперсности. Показано, чем больше скорость охлаждения, тем дисперснее получающаяся феррито-карбидная смесь, тем меньше величина межпластиночного расстояния. Это ведет к тому, что с увеличением степени дисперсности прочностные характеристики (прочность – σ в твердость – НВ) возрастают, а пластические характеристики (относительное удлинение – δ и сужение – ψ) уменьшаются.

Отмечено, что формирование в поверхностном слое стали градиентно-слоистой структуры позволяет исключить образование резкой границы перехода от структур мартенсита к троостомартенситным и смешанным пластинчатым структурам (троостит, сорбит), являющегося одним из важных факторов, с помощью которого можно повысить контактно-усталостную прочность стали и в дальнейшем будет способствовать ее трещиностойкости.

Ключевые слова: колесная сталь, плазменная закалка, структурообразование, механизмы превращения, неоднородные структуры, дисперсность структур, механические свойства.

Т.Е.Сарсембаева*¹, А.Т.Канаев²

¹S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan

²Eurasian national university, Astana, Kazakhstan

Formation of a gradient-layer structure in structural steel during plasma hardening

Abstract. The structural features of structural steel in the process of surface plasma hardening have been studied. It is shown that during rapid heating and cooling in the surface zone, a gradient-layered structure is formed, determined by various mechanisms of austenite transformation ($\gamma \rightarrow \alpha$) in the section of the hardened zone. It has been established that a diffusion-free martensitic transformation develops in the surface zone, which leads to the formation of acicular martensite. In the lower layers, the decomposition of austenite is accompanied by the process of diffusion and the further formation of a lamellar ferrite-carbide mixture of varying degrees of dispersion. It is shown that the higher the cooling rate, the more disperse

the resulting ferrite-carbide mixture, the smaller the interplate distance. This leads to the fact that with an increase in the degree of dispersion, the strength characteristics (strength – σ in hardness – HB) increase, and the plastic characteristics (relative elongation – δ and contraction – ψ) decrease.

It is noted that the formation of a gradient-layered structure in the surface layer of steel makes it possible to eliminate the formation of a sharp transition boundary from martensite structures to troostemartensitic and mixed lamellar structures (troostite, sorbite), which is one of the important factors by which contact fatigue strength can be increased steel will continue to contribute to its crack resistance.

Keywords: wheel steel, plasma hardening, structure formation, transformation mechanisms, heterogeneous structures, dispersion of structures, mechanical properties.

References

1. Kovalenko V.V., Kozlova E.V. Physical nature of the formation and evolution of gradient structural-phase states in steels and alloys. Novokuznetsk: Polygraphist LLC. – 2009. - 557 p.
2. Generalization of best practices in heavy lift traffic: issues of interaction between wheel and rail / translation from English. W. Harris, S. Zakharov, D. Landgren and others - M.: Intext. - 2002. - 416 p.
3. IX World Congress on High-Speed Rail Traffic, Tokyo, 2015 // Railway transport. - 2016. - No. 4. *Высокоскоростное движение – будущее железнодорожного транспорта (urfu.ru)*
4. Rühle M., Wilkens M. Transmission electron microscopy. In the book “Physical metallurgy”, volume 1, Transl. from English, edited by O.V. Abramov. and Kopetsky C.V. – M.: Metallurgy. - 1997. - 640 p.
5. Spence J. Experimental high-resolution electron microscopy. Per. from English. – M.: Nauka. - 1996. - 320 p.
6. Metallography of iron. Vol. 1 “Fundamentals of Metallography”, trans. from English Publishing house "Metallurgy". - M.: - 1972. - 240 p.
7. A.T. Kanaev, T.E. Sarsembaeva, M.A. Saidullaeva. Formation of Gradient-Foliated Structures under High-Temperature Thermomechanical Treatment and Surface Plasma Quenching of Carbon Steel. ISSN 0967-0912, Steel in Translation, 2021, Vol. 51, No. 9, pp. 677–682. © Allerton Press, Inc., 2021. Russian Text © The Author(s), 2021, published in Stal', 2021, No. 9, pp. 51–55.
8. Lakhtin Yu.M. Metallurgy and heat treatment of metals. – M.: Metallurgy. -1984. - 360 p.
9. Tushinsky L.I. Structural theory of structural strength of materials. - Novosibirsk, NSTU Publishing House. - 2004. - 400 p.
10. Isakaev E.Kh., Ilyichev M.V., Tyuftev A.S. Features of structure formation and formation of properties during plasma processing of carbon steel // Steel. – 2003. No. 2. p. 52-55.
11. Savitsky A.I., Bakhrakh S.B., Zavizian N.F. The influence of plasma treatment on the structure and mechanical properties of the surface layer of metals // Welding production.- 1993. No. 11, p. 10-11.
12. Polyurin A.N., Bolotina N.P., Bol A.A. and others. New materials and technologies, Theory and practice of strengthening materials under extreme conditions. - Novosibirsk, Science, Siberian Publishing Company. - 1992. - 200 p.
13. A. Kanaev, D. Orynbekov. Gradient layer structure formation During plasma treatment of wheel steel. International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD). ISSN (P) 2449-6890; ISSN (E) 2249-8001; Vol 10, Issue 3, Jun 2020. P. 457-466.

Авторлар туралы мәлімет:

Сарсембаева Т.Е. – PhD докторы, аға оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Жеңіс даңғылы, 62 Астана, Қазақстан

Канаев А.Т. – техника ғылымдарының докторы, профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сатпаев көшесі 2, Астана, Қазақстан

Сарсембаева Т.Е. – доктор PhD, старший преподаватель Казахский агротехнический исследова-тельский университет имени С. Сейфуллина, проспект Женис, 62, Астана, Казахстан

Канаев А.Т. – доктор технических наук, профессор, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, улица Сатпаева 2, Астана, Казахстан

Sarsembaeva T.E. – PhD, senior lecturer S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, 62 Zhenis Avenue, Astana, Kazakhstan

Kanaev A.T. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Eurasian National University, 2 Satpaev street, 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 67.07.01

Научная статья

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-150-1-186-202>

Энергоэффективность в архитектуре школьных зданий: ключевой фактор устойчивого развития

С.Ш. Садыкова^{1*}, А.А. Сайлаубеков

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева

(E-mail: sara.arch@mail.ru)

Аннотация. Современные образовательные учреждения вынуждены адаптироваться к изменениям в обществе и новым требованиям, предъявляемым к учебному процессу. В этой связи архитекторы и дизайнеры разрабатывают инновационные подходы к проектированию школьных зданий, стремясь создать гибкие, эффективные и экологически устойчивые пространства. В статье рассматриваются ключевые тенденции в архитектуре школьных зданий, направленные на повышение энергоэффективности и снижение воздействия на окружающую среду. Основное внимание уделяется использованию возобновляемых источников энергии, пассивному проектированию, интеллектуальным системам управления, а также сертификации зданий по стандартам LEED и BREEAM. Приведены примеры успешных проектов, таких, как «Начальная школа естественных наук и биоразнообразия» в Париже и культурно-образовательный центр Чоарватты, которые демонстрируют важность внедрения энергоэффективных технологий для создания комфортных и устойчивых образовательных пространств. Кроме того, рассмотрены инновационные материалы и технологии, способствующие снижению энергопотребления и созданию комфортной учебной среды. Особое внимание уделяется роли школьных зданий в формировании экологического сознания у учеников, что является важным элементом в воспитании будущих поколений. Значимость данных процессов, а именно интеграция природных ресурсов в сферу архитектуры для развития экологической и экономической устойчивости особенно подчеркивает их важность.

Ключевые слова: архитектура, искусственный интеллект, инновационные технологии, энергоэффективность.

Поступила 29.10.2024. Доработана 03.12.2024. Одобрена 24.12.2024. Доступна онлайн 31.03.2025

¹автор для корреспонденции

Введение

Современные образовательные учреждения сталкиваются с необходимостью адаптации к быстро меняющимся условиям жизни и новым требованиям к учебному процессу. Энергоэффективность в зданиях и ее влияние на окружающую среду стало одним из наиболее актуальных общественных вопросов в последние десятилетия. Во многих странах грядущее сокращение запасов ископаемых энергоносителей приводит к необходимости проведения очень жесткой политики в области энергетики и окружающей среды, в центре которой регулярно оказывается строительный сектор. [1]

В ответ на это архитекторы и дизайнеры разрабатывают инновационные подходы к проектированию школьных зданий, стремясь создать более гибкие, эффективные и безопасные пространства. Эти тенденции направлены на повышение качества образования, комфортного пребывания учеников, а также на внедрение экологически устойчивых решений. Помимо этого, развитие технологий и инновационные материалы позволяют существенно снизить энергозатраты на эксплуатацию зданий, способствуя уменьшению углеродного следа и снижению затрат на содержание учебных заведений. Такие подходы становятся важным шагом на пути к устойчивому развитию и формированию экологически осознанного поколения.

Существует мнение, что задачи энергосбережения и повышения энергоэффективности – это ответственность исключительно государства, своего рода официальная инициатива, не связанная с нашей повседневной жизнью, особенно в стране с такими богатыми ресурсами, как Казахстан. Однако такое представление ошибочно и может привести к серьезным негативным последствиям. Основные источники энергии, такие, как тепловые, атомные и гидроэлектростанции, наносят значительный ущерб окружающей среде. Каждая новая станция лишает нас и будущие поколения чистого воздуха, зелёных лугов и прозрачных рек. И этот вопрос важен не в далёкой перспективе, а уже сегодня. [2]

Казахстан в данном плане давно выпустил государственные документы, регулирующие вопросы энергоэффективности. Они позволяют создать нормативно-правовую основу для внедрения современных технологий энергосбережения и устойчивого проектирования. Данные документы, такие, как Закон Республики Казахстан «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности» [9] ориентированы на обеспечение оптимального энергопотребления в зданиях. Они обязывают проектировщиков использовать материалы с высокими теплоизоляционными характеристиками, внедрять системы автоматического управления энергией и учитывать экологические аспекты на этапе проектирования. Эти меры стимулируют переход образовательных учреждений к энергоэффективным стандартам, минимизируют затраты на эксплуатацию зданий и способствуют снижению негативного влияния на окружающую среду. Кроме того, государственная программа по «зеленой экономике» в Казахстане [10] ставит цель активно интегрировать возобновляемые источники энергии в строительный сектор, включая образовательные учреждения, что способствует формированию устойчивой и экологически безопасной инфраструктуры. Таким образом, данные нормативные акты позволяют не только сократить энергопотребление и эксплуатационные расходы,

но и повысить качество образовательной среды, делая её комфортной и экологически устойчивой.

Цель данной статьи – выявление ключевых инновационных тенденций в архитектуре школьных зданий и энергоэффективного подхода в их проектировании. Основой для обзора литературы стали статьи из данных источников: Повышение энергоэффективности во Франции: опыт A.R.I.E.L. и высшей инженерной школы Парижа (MINES-ParisTech) отражено в исследовании Балдина В.Ю., Селезневой И.С. [1]; Особенности формирования «зеленой» школы освещены в статье Азарова Е.В., Задирако И.Н., Плетнер Ю.Д., Шимутин Е.Н. «Энергоэффективная школа: как экономить деньги» [2]; Повышение эффективности с помощью программы энергоменеджмента как устойчивой практики в школах исследованы авторами: Fadi AlFaris, Adel Juaidi, Francisco Manzano-Agugliaro [3]; Принцип использования местных экологически чистых материалов и солнечных панелей показаны в проекте «Начальная школа естественных наук и биоразнообразия Chartier Dalix Architectes» [4]; Мировой опыт формирования школьных зданий на основе энергосберегающих технологий исследованы в статье Смолина С.И., Киселева О.В. [5]; Искусственный интеллект как компонент инновационного содержания общего образования: анализ мирового опыта и отечественные перспективы отражены в трудах Садыковой А.Р., Левченко И.В. [6]; Проект с использованием экологически чистых материалов и систем энергосбережения автоматизированным искусственным интеллектом показан на примере «Культурный и образовательный центр Чоарватта» архитектора Йоар Нанго» [7]; Также было рассмотрено использование искусственного интеллекта в проектировании энергоэффективных школ, и хорошим пример стал проект «Эджвудская средняя школа» (Edgewood High School), спроектированный Daniels Construction [8]; Закон Республики Казахстан «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности» [9]; План мероприятий по реализации Концепции по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике» на 2021–2030 годы [10]; Энергоэффективные материалы: Обзор в журнале Buildings использование инновационных строительных материалов, таких, как биобетон, фазопереходные материалы и интегрированные в здание фотоэлектрические панели были охвачены в статье Яхья Алассаф [11]; Зеленая архитектура и энергоэффективность: Исследование в Engineering Science & Technology Journal рассматривает инновационные подходы к проектированию зданий в статье Аниекан Акпан Умох, Адедайо Адефеми и Кеннет Ифеаньи Ибекве. [12] Таким образом, освещение этой темы в трудах различных авторов подчеркивает востребованность и актуальность исследований в области инновационных энергоэффективных технологий, применяемых в проектировании и строительстве современных школьных зданий.

Методология

Методология данной статьи представляет собой процесс исследования и систематизации зарубежных научных трудов, образовательных электронных ресурсов и интернет-источников по теме энергоэффективности, «зеленой» архитектуры и инновационного подхода в проектировании школьных зданий. Объектами исследования стали статьи за последние 10 лет, относящиеся к теме энергоэффективного проектирования.

При написании данной статьи был проведен анализ существующих тенденций и технологий в области проектирования энергоэффективных школьных зданий. В качестве ключевых источников использовались научные статьи, отчеты международных организаций и примеры успешных проектов энергоэффективных школ. Особое внимание было уделено системам сертификации зданий, таким, как LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) и BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), которые устанавливают стандарты экологического и энергоэффективного проектирования.

Были изучены основные теоретические и практические работы по вопросам энергоэффективности в архитектуре учебных учреждений. Были проанализированы примеры проектов из разных стран, таких, как Франция, Германия и США, для выявления успешных решений и подходов. Также рассмотрены международные стандарты и системы сертификации, такие, как LEED и BREEAM, с целью оценки их влияния на развитие энергоэффективных школьных зданий. Эти системы были выбраны как наиболее авторитетные и применимые для проектирования экологически устойчивых объектов.

Результаты и обсуждения

Энергоэффективные школы являются важным элементом прочного экологического и экономического развития образовательных учреждений. Внедрение энергоэффективных технологий в школах повышает общественную осведомленность о необходимости заботы об окружающей среде и рационального использования природных ресурсов. Это важно для воспитания экологически сознательных граждан. Внедрение энергоэффективных принципов проектирования в архитектуру школьных зданий позволит уменьшить потребление энергии для отопления, освещения, вентиляции и работы оборудования, уменьшить негативное воздействие на окружающую среду, что делает их более устойчивыми и экономичными в эксплуатации. Это крайне актуально в нынешнее время инфляции и климатических изменений по всему миру.

Изменение климата и будущее энергетических источников представляют собой серьезные вызовы для человечества. Использование человеком ископаемого топлива не только оказывает согревающий эффект на погоду, но и приводит к энергетическому дефициту. Текущие экологические проблемы коренятся в недостаточном осознании и слабости культурного отношения к взаимодействию человека и природы. Устойчивое общество может быть создано только на основе знаний и понимания, требующих преобразования образовательного сектора для внедрения практик устойчивого развития и взаимодействия с экосистемами. [3]

Проектирование энергоэффективных школ включает в себя интеграцию технологий и методов, направленных на минимизацию потребления энергии и снижение негативного воздействия на окружающую среду. Один из ключевых элементов такого подхода – это использование пассивных архитектурных решений, которые оптимизируют использование солнечного света и естественной вентиляции, что, в свою очередь,

снижает потребность в электроэнергии для освещения и кондиционирования воздуха. Важным аспектом является использование возобновляемых источников энергии. Системы, такие, как солнечные панели и ветряные установки, позволяют частично или полностью удовлетворять энергетические потребности школы, минимизируя зависимость от традиционных источников энергии и уменьшая углеродный след. Кроме того, особое внимание уделяется выбору инновационных строительных материалов, которые обеспечивают высокую теплоизоляцию. Это позволяет сократить теплопотери зимой и уменьшить перегрев помещений в летний период, создавая комфортную внутреннюю среду для учебного процесса. [11] Не менее важным элементом являются умные системы управления зданием, которые позволяют эффективно регулировать освещенность, температуру и вентиляцию в зависимости от присутствия людей и внешних условий. Эти технологии помогают снизить расход энергии и оптимизировать работу инженерных систем. К зелёным технологиям в проектировании школ можно отнести использование зеленых крыш, которые не только улучшают теплоизоляцию, но и способствуют улучшению качества воздуха и снижению уровня шума. Такие элементы делают здание экологически устойчивым, вносят вклад в сохранение биоразнообразия и помогают формировать у учащихся осознанное отношение к природным ресурсам. Таким образом, комплексный подход к проектированию энергоэффективных школ способствует созданию учебных заведений, которые не только экономят ресурсы, но и создают благоприятную среду для обучения. [12]

В нынешнее время существуют международные системы сертификации зданий, которые упрощают понимание экологичного проектирования, оценивают их экологическую устойчивость и энергоэффективность, а именно LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) и BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method). Они используются для разработки и управления зданиями, стремящимися минимизировать вредное воздействие на окружающую среду. В проектировании учебных учреждений можно будет отталкиваться от данных систем сертификации, что упрощает понимание энергоэффективных школ и не упускает все элементы энергоэффективного проектирования (рис.1).

Сейчас есть множество примеров энергоэффективных школ, которые используют активные и пассивные системы энергосбережения. Самый популярный пример таких школ — это Начальная школа естественных наук и биоразнообразия (École Primaire des Sciences et de la Biodiversité) в Париже, Франция, спроектированный архитектурным бюро «Chartier Dalix Architectes». Начальная школа с собственной природной средой. Проект был разработан в рамках особо инновационной программы, направленной на защиту окружающей среды. Концепция здания основана на создании первичного ландшафта, текстуры и компоненты которого будут заимствованы из более широкого ландшафта, который напоминает ландшафтные горные местности. Данная школа имеет три уровня озеленения, на кровле которой находится школьный огород и сад, за которым дети ухаживают и познают окружающий мир.



Рисунок 1. Начальная школа естественных наук и биоразнообразия (École Primaire des Sciences et de la Biodiversité), Париж, Франция.

Этот проект представляет собой "ландшафт как жизненное пространство", а не просто здание. Здание состоит из двух отдельных частей: бетонные части – фасады, и части, выполненные из растений – крыша. Эта оболочка обволакивает школу, создавая общий объем с плавными контурами и гибкими линиями, открывая плавные внутренние пространства и эластичные внешние, избегая разрывов между объемами (рис.2, рис.3).



Рисунок 2. Вид на «зеленую» крышу Начальной школы естественных наук и биоразнообразия (École Primaire des Sciences et de la Biodiversité), Париж, Франция.



Рисунок 3. Вид на фрагмент фасада. Начальная школа естественных наук и биоразнообразия (École Primaire des Sciences et de la Biodiversité), Париж, Франция.

Компактное здание выходит окнами на окрестности, открывая множество перспектив. Игровые площадки – это два открытых пространства, которые взаимодействуют друг с другом, находятся на виду друг у друга, оценивая друг друга (однажды дети дошкольного возраста пойдут в начальную школу). Все здание окружено примитивной природной средой, которая действует как более или менее долгосрочный катализатор сохранения биоразнообразия в центре более крупного объекта. Действительно, это сооружение живое, поскольку его внешний вид меняется. Благодаря своей функции основы ландшафта, он представляет собой оболочку, которая будет отличаться через пять или десять лет, со всей непредсказуемостью природы, которая не обязательно появляется там, где можно было бы ожидать. [4]

Начальная школа естественных наук и биоразнообразия (École Primaire des Sciences et de la Biodiversité) в Париже, Франция, является примером инновационного устойчивого проектирования. Этот проект продемонстрировал, как можно интегрировать природные процессы в архитектуру школьных зданий и выделить среди привычных традиционных школ. В данной школе были использованы солнечные панели на крыше здания, которые позволяют экономить энергию. В здании установлены системы автоматизации, которые управляют освещением и отоплением на основе данных о присутствии людей и погодных условий. Это было сделано для разумного энергопотребления.

После завершения строительства в школе была внедрена система мониторинга энергопотребления, которая отслеживает потребление электричества, отопления и

воды в реальном времени. Это позволяет регулировать работу систем в зависимости от фактических потребностей и минимизировать энергозатраты. С использованием программ для энергетического моделирования проводятся регулярные симуляции, которые помогают прогнозировать энергопотребление в различных климатических условиях и в зависимости от изменений в эксплуатации здания (например, при увеличении количества учащихся). Также нужно отметить про «зеленые» крыши в нашем примере начальной школы естественных наук и биоразнообразия в Париже, то его преимущество в том, что слой растительности на крыше улучшает теплоизоляцию, уменьшает перегрев здания летом и помогает поддерживать комфортную температуру в помещении, улучшает микроклимат, уменьшает потребность в кондиционировании воздуха и создает комфортную среду в здании.

Таким образом, проект начальной школы естественных наук и биоразнообразия стал образцом энергоэффективного и экологически устойчивого проектирования. Его архитектурные и инженерные решения направлены на минимизацию воздействия на окружающую среду, снижение энергопотребления и создание комфортных условий для обучения.

Снижение энергопотребления в школьных зданиях, построенных с использованием энергоэффективных технологий, можно оценить на основе различных статистических исследований и отчетов. Основные показатели касаются экономии электроэнергии, тепловой энергии и уменьшения углеродного следа. В школах, построенных с использованием энергоэффективных технологий, энергопотребление может снижаться на 20-50% по сравнению с традиционными зданиями. В Германии и Северной Европе внедрение стандартов Passivhaus в школах позволило снизить потребление энергии до 15 кВт·ч/м² в год, что почти в 10 раз меньше, чем в обычных зданиях. А в США школы, построенные по стандартам LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), показывают снижение энергопотребления по сравнению с традиционными зданиями. [5]. Эти данные показывают, что энергоэффективные технологии могут значительно сократить потребление энергии в образовательных учреждениях, снизить расходы и минимизировать загрязнение природной среды. В этом плане культурный и образовательный центр Чоарватты подчеркивает важность использования местных ресурсов для снижения экологического следа. Подобные проекты доказывают, что локальный подход к выбору материалов и технологий может существенно повысить устойчивость зданий и уменьшить их влияние на природу. Современные энергоэффективные технологии и материалы позволяют не только снизить энергозатраты, но и минимизировать воздействие на окружающую среду. Внедрение таких решений в школьных зданиях способствует созданию комфортной и экологичной среды для учащихся и персонала. В этом проекте были использованы материалы из местного камня и древесины сосны. В вестибюле и коридорах полы из полированного бетона имитируют поверхность земли снаружи здания, а элементы декора выполнены из местного камня, включая сланец и кварцит различных оттенков серого и зеленого. (рис.4).



Рисунок 4. Образовательный центр Чоарватты (Čoarvemátta Cultural and Educational Hub), Kautokeino, Norway.

Данная школа соответствует стандарту LEED и BREEM, что означает, что здание очень высокого качества, с хорошим микроклиматом в помещении и чрезвычайно низкими энергозатратами. Здание на 90% обеспечивает себя энергией для отопления и охлаждения благодаря 40 геотермальным скважинам, пробуренным на глубине около 250 метров. Скважины снабжают энергией два тепловых насоса, которые одновременно обогревают и охлаждают здание, в то время как теплообменники энергетических скважин отводят излишки тепла обратно. В самые холодные зимние дни система дополняется электрическим котлом. [7]

В школах, которые были рассмотрены в статье, использованы активные и пассивные энергосберегающие технологии. Внимание уделялось использованию солнечных панелей, систем автоматизации управления энергопотреблением, а также использованию экологически чистых материалов и «зелёных» крыш и описаны положительные воздействия их использования, воздействия на окружающую среду. Для оценки экологических преимуществ энергоэффективных школ были использованы модели и симуляции, которые позволили предсказать возможное сокращение углеродного следа и других негативных последствий на атмосферу земли. Вместе с этим, следует отметить, что в школах, использующих энергоэффективные технологии, расходы на отопление могут снизиться на 30-50% за счет улучшенной теплоизоляции, двойных окон и использования современных систем управления теплом, а именно интеллектуальные системы управления отоплением и вентиляцией. Температура в зданиях регулируется автоматически в зависимости от времени суток, погодных условий и наличия людей в помещении. Это помогает избежать перерасхода энергии на отопление или кондиционирование. Повышение энергетической эффективности позволяет напрямую снижать добычу и потребление первичной энергии, необходимых для достижения определенной цели, обеспечивать энергетическую независимость, снижать выбросы CO₂ и тем самым уменьшать остроту проблемы изменения климата и глобального повышения температуры. Таким образом, вклад энергоэффективности

является наиболее значительным и оценивается величиной до 39 % в сценариях глобального потепления. Современные энергоэффективные технологии и материалы позволяют не только снизить энергозатраты, но и минимизировать воздействие на окружающую среду. Внедрение таких решений в школьных зданиях способствует созданию комфортной и экологичной среды для учащихся и персонала. [7]

Также рассмотрим внедрение искусственного интеллекта (ИИ) в школьный процесс обучения. Не секрет, что искусственный интеллект все больше развивается и внедряется практически во все сферы, включая архитектуру, дизайн, анализ данных и т.п. Актуальность искусственного интеллекта создает новые профессии, связанные с использованием ИИ, и в скором времени школьные программы будут обновлены с нынешними тенденциями использования искусственного интеллекта в робототехнике, информационных технологиях и связанных с технологиями модулей.

Важность искусственного интеллекта можно рассмотреть не только в школьной программе, а также в поддержке систем экологического энергопотребления, сокращения расходов и управления освещением, системой безопасности и вентиляции. Для безопасности школ сейчас используется ИИ в определении и анализе лиц при входе в школу, в школах с энергоэффективным энергоснабжением искусственный интеллект используется для автоматической регулировки работы вентиляции, отопления, освещения и кондиционирования воздуха, предотвращая излишние потери энергии. Все эти аспекты использования искусственного интеллекта с каждым годом дополняются и улучшаются для качественной работы и комфортного использования. [6].

Также умные управления зданиями за счет искусственного интеллекта играют важную роль в повышении энергоэффективности. Они регулируют потребление энергии в зависимости от присутствия людей и погодных условий, что помогает существенно сократить эксплуатационные расходы и повысить экологическую устойчивость сооружений. Представьте школу, которая сама регулирует температуру, управляет освещением и даже контролирует расход энергии, чтобы создать комфортную и безопасную среду для учеников и учителей. Именно так работает Edgewood High School в Мэдисоне, США – школа будущего, где искусственный интеллект (ИИ) заботится о том, чтобы здание было максимально энергоэффективным и при этом сэкономило ресурсы. (рис.5).



Рисунок 5. Edgewood High School в Мэдисоне, США.

Что делает эту школу особенной? Начнем с того, что ИИ здесь контролирует практически все процессы, связанные с энергетикой. Например, система отопления и вентиляции работает в зависимости от времени суток, погоды и количества людей в помещении. Представьте, что на улице холодный день, и до начала занятий еще несколько часов — здание не тратит лишнюю энергию, поддерживая минимальную комфортную температуру. Но как только школа начинает оживать, ИИ автоматически подстраивает температуру под нужды учеников, создавая уют и тепло. Освещение тоже работает с умом. В классе свет загорается только тогда, когда туда входят люди. А если на улице яркое солнце, система уменьшает яркость ламп, экономя электричество. И это происходит без участия человека — ИИ всё делает сам. Школа также использует солнечные панели, и здесь снова на помощь приходит ИИ. Он отслеживает прогноз погоды и определяет, сколько энергии можно накопить, чтобы потом использовать её на нужды здания. Например, лишняя энергия может быть сохранена на вечер или пасмурный день. Еще одно важное преимущество — постоянный мониторинг энергопотребления. ИИ следит за тем, как используется энергия в здании, и в реальном времени предлагает решения по ее оптимизации. Например, если где-то идет перерасход, система это сразу фиксирует и корректирует. Особенность проекта Edgewood High School заключается в том, что ИИ не просто помогает экономить энергию, но и учит этому новых учеников. Учащиеся видят, как работает умная школа, как технологии помогают заботиться об окружающей среде, и понимают, как можно жить более экологично. И в этом смысле школа становится не просто местом для обучения, но и примером того, как мы можем использовать технологии, чтобы сделать мир лучше. Edgewood High School — это пример того, как искусственный интеллект может не только сделать школу более эффективной, но и помочь формировать экологически осознанное поколение. [8]

Школы, спроектированные с использованием ИИ, становятся настоящими «умными» зданиями, которые адаптируются к изменяющимся условиям и нуждам, минимизируя негативное воздействие на окружающую среду. Это не только экономически эффективно, но и помогает формировать экологически сознательных учеников, которые в будущем смогут лучше понимать и управлять ресурсами планеты.

Таким образом, ИИ становится ключевым инструментом для создания энергоэффективных школ, которые способны реагировать на изменения окружающей среды, оптимизировать свои ресурсы и предоставлять качественные условия для обучения.

В ходе анализа проектирования энергоэффективных школьных зданий было установлено, что внедрение современных технологий и подходов значительно улучшает эксплуатационные характеристики учебных учреждений, снижает затраты на энергию и уменьшает негативное воздействие на окружающую среду. Рассмотренные примеры, такие, как «Начальная школа естественных наук и биоразнообразия» во Франции, демонстрируют, что активное и пассивное проектирование, а также использование экологичных строительных материалов, солнечных панелей, «зеленых» крыш и интеллектуальных систем управления позволяют достичь высокого уровня энергоэффективности.

Основные результаты статьи отражают следующие аспекты энергоэффективного проектирования школьных зданий:

- Снижение энергопотребления – использование пассивных и активных энерго-сберегающих технологий позволяет снизить энергозатраты на отопление, охлаждение и освещение до 50%, в сравнении с традиционными зданиями;

- улучшение качества среды обитания – «зеленые» крыши и фасады, а также использование натуральных материалов и эффективных изоляционных решений создают комфортные условия для обучения, улучшая микроклимат внутри учебных помещений;

- использование альтернативных источников энергии и экологически чистых материалов – в данный момент из-за климатических изменений человечество пытается внедрить возобновляемые источники энергии (солнечные панели, ветряные мельницы и т.п.) и использовать экологически чистые материалы для сокращения углеродного следа;

- внедрение искусственного интеллекта в процесс обучения и для экологического энергоснабжения – обновлённая школьная программа и разумное использование энергии за счет автоматизации энергопотребления.

Воплощение всех этих моментов позволит не только сократить энергопотребление, но и позволит воспитать новое поколение экологически сознательных граждан.

Заключение

Проектирование энергоэффективных школ становится особенно важным в данных условиях глобального потепления и сокращения мировых ресурсов. Описанные в статье примеры показывают, что использование современных технологий способствуют сокращению энергопотребления, одновременно улучшая условия для обучения и минимизируя негативное воздействие на окружающую среду. В долгосрочной перспективе использование солнечных панелей, искусственного интеллекта в автоматизации и применение экологически чистых строительных технологий делают школы не только более экологичными, но и экономически выгодными. Энергоэффективные школы обладают значительными преимуществами по сравнению с традиционными школами. Они не только позволяют существенно сократить затраты на энергию и воду, но и обеспечивают более комфортные условия для обучения, а также уменьшают нагрузку на окружающую среду. В долгосрочной перспективе такие здания становятся более выгодными и устойчивыми в эксплуатации.

Проект «Начальной школы естественных наук и биоразнообразия» в Париже, Франция, подчеркивает важность интеграции природных процессов в архитектуру. Этот проект – хороший пример гармоничного слияния зданий с природой. Хорошая энергоэффективная школа с экологическим аспектом улучшает образовательную среду и формирует осознанное отношение к окружающей среде, и данная школа к тому пример. Применение пассивных и активных энергосберегающих технологий, таких, как «зеленые» крыши и использование местных материалов, доказывают, что даже в условиях городской застройки возможно создание экологически устойчивых объектов.

Энергоэффективные школы играют важную роль в реализации принципов устойчивого развития в сфере образования и «зеленой» архитектуры. Очень важно

внедрить современные технологии и энергоэффективные архитектурные решения в проектирование школ, это позволит значительно снизить энергопотребление, улучшить качество образовательной среды и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду. Внедрение возобновляемых источников энергии и интеллектуальных систем управления обеспечивает более экономичную эксплуатацию зданий, делая их устойчивыми и адаптивными к современным вызовам. Описанные в статье примеры энергоэффективных школ являются отличным примером реализации энергоэффективных принципов в проектировании образовательных учреждений.

Таким образом, архитектура энергоэффективных школ не только повышает экономическую и экологическую эффективность образовательных учреждений, но и способствует воспитанию у учащихся экологической ответственности. Эти школы становятся моделью для подражания, демонстрируя, как можно сочетать функциональность и заботу об окружающей среде, что, в свою очередь, помогает формировать у молодого поколения осознанное отношение к ресурсам и устойчивому развитию.

Вклад авторов:

Садыкова С.Ш. – концепция, работа с литературными источниками, написание.

Сайлаубеков А.А. – анализ, редактирование, написание (введение), визуализация, методология, сбор информации.

Список литературы

1. Балдин В. Ю., Селезнева И. С. Повышение энергоэффективности во Франции: опыт A.R.I.E.L. и высшей инженерной школы Парижа (MINES-ParisTech). – [Электрон.ресурс] - URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/88808/1/eir_2014_1_002.pdf (дата обращения: 14.10.2024).
2. Азарова Е.В., Задирако И.Н., Плетнер Ю.Д., Шимутин Е.Н. Энергоэффективная школа: как экономить деньги? – [Электрон.ресурс] - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/energoeffektivnaya-shkola-kak-ekonomit-dengi> (дата обращения: 14.10.2024).
3. Improvement of efficiency through an energy management program as a sustainable practice in schools (Повышение эффективности с помощью программы энергоменеджмента как устойчивой практики в школах) Fadi AlFaris, Adel Juaidi, Francisco Manzano-Agugliaro – [Электрон.ресурс]-URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.172> (дата обращения: 14.10.2024).
4. Primary School For Sciences And Biodiversity / Chartier Dalix Architectes (Начальная школа естественных наук и биоразнообразия / Chartier Dalix Architectes)– [Электрон. ресурс] - URL: https://www.archdaily.com/585862/primary-school-for-sciences-and-biodiversity-chartier-dalix-architectes/54b0896de58ece982700004d-chartierdalix_blg_vue_du_parvis_facade_sud-david_foessel-jpg (дата обращения: 14.10.2024).
5. Смолина С.И., Киселева О.В. Мировой опыт формирования школьных зданий на основе энергосберегающих технологий – [Электрон. ресурс] - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mirovoy-opyt-formirovaniya-shkolnyh-zdaniy-na-osnove-energoberegayuschih-tehnologiy?ysclid=m16fk8icgt228363214> (дата обращения: 14.10.2024).

6. Садыкова А. Р., Левченко И. В. Искусственный интеллект как компонент инновационного содержания общего образования: анализ мирового опыта и отечественные перспективы – [Электрон.ресурс] - URL: [https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyu-intellekt-kak-komponent-innovatsionnogo-soderzhaniya-obschego-obrazovaniya-analiz-mirovogo-opyta-i-otechestvennye/viewer](https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyu-intellekt-kak-komponent-innovatsionnogo-soderzhaniya-obschego-obrazovaniya-analiz-mirovogo-opyta-i-otechestvennye) (дата обращения: 14.10.2024).

7. Coarvemátta Cultural and Educational Hub / Snøhetta + 70°N arkitektur + Joar Nango (Культурный и образовательный центр Чоарватта / Снехетта + 70°северной широты, архитектор + Йоар Нанго) – [Электрон.ресурс] - URL: https://www.archdaily.com/1020438/coarvematta-cultural-and-educational-hub-snohetta?ad_medium=gallery (дата обращения: 14.10.2024).

8. Edgewood High School Alumni Hall (Зал выпускников Эджвудской средней школы) – [Электрон.ресурс] - URL: <https://www.abcwi.org/projects-of-distinct/edgewood-high-school-alumni-hall/> (дата обращения: 14.10.2024).

9. Закон Республики Казахстан «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности» – [Электрон.ресурс] – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z1200000541> (дата обращения: 14.10.2024).

10. План мероприятий по реализации Концепции по переходу Республики Казахстан к "зеленой экономике" на 2021–2030 годы – [Электрон.ресурс] - URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2000000479> (дата обращения: 14.10.2024).

11. Яхья Алассаф. Энергоэффективные материалы: Обзор в журнале Buildings использование инновационных строительных материалов, таких, как биобетон, фазопереходные материалы и интегрированные в здание фотоэлектрические панели – [Электрон.ресурс] - URL: <https://doi.org/10.3390/buildings14092994> (дата обращения: 14.10.2024).

12. Аниекан Акпан Умох, Адедайо Адефем и Кеннет Ифеаньи Ибекве. Зеленая архитектура и энергоэффективность: Исследование в Engineering Science & Technology Journal рассматривает инновационные подходы к проектированию зданий – [Электрон.ресурс] - URL: <https://doi.org/10.51594/estj.v5i1.743> (дата обращения: 14.10.2024).

С.Ш. Садыкова, А.А. Сайлаубеков

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

**Мектеп ғимараттарының архитектурасындағы энергия тиімділігі:
тұрақты дамудың негізгі факторы**

Аннотация. Қазіргі білім беру мекемелері қоғамдағы өзгерістерге және оқу үдерісіне қойылатын жаңа талаптарға бейімделуге мәжбүр. Осыған байланысты сәулетшілер мен дизайнерлер икемді, тиімді және экологиялық тұрақты кеңістіктер құруды мақсат етіп, мектеп ғимараттарын жобалаудың инновациялық тәсілдерін әзірлеуде. Мақалада энергия тиімділігін арттыруға және қоршаған ортаға әсерді азайтуға бағытталған мектеп құрылысының архитектурасының негізгі тенденциялары қарастырылады. Негізгі назар жаңартылатын энергияны пайдалануға, пассивті дизайнға, интеллектуалды басқару жүйелеріне және LEED және BREEAM құрылыс сертификаттарына бағытталған. Париждегі жаратылыстану ғылымдары және биоәртүрлілік

бастауыш мектебі және Чоарватта мәдени-білім беру орталығы сияқты табысты жобалардың мысалдары келтірілген, олар жайлы және тұрақты білім беру кеңістігін құру үшін энергияны үнемдейтін технологияларды енгізудің маңыздылығын көрсетеді. Сонымен қатар, энергияны тұтынуды азайтуға және ыңғайлы оқу ортасын құруға көмектесетін инновациялық материалдар мен технологиялар қарастырылады. Болашақ ұрпақты тәрбиелеудің маңызды элементі болып табылатын оқушылардың экологиялық санасын қалыптастырудағы мектеп ғимараттарының рөліне ерекше назар аударылады. Бұл процестердің маңызы, атап айтқанда, экологиялық және экономикалық тұрақтылықты дамыту үшін табиғи ресурстарды сәулет саласына біріктіру олардың маңыздылығын ерекше атап көрсетеді.

Түйін сөздер: жасанды интеллект, энергия тиімділігі, сәулет, LEED, BREEAM.

S.Sh. Sadykova, A.A. Sailaubekov
L.N. Gumilyov Eurasian National University

Energy Efficiency in School Building Architecture: A Key Factor for Sustainable Development

Abstract. Modern educational institutions are forced to adapt to changes in society and new demands placed on the learning process. In this regard, architects and designers are developing innovative approaches to the design of school buildings, striving to create flexible, efficient and environmentally sustainable spaces. The article examines key trends in the architecture of school buildings aimed at increasing energy efficiency and reducing the environmental impact. The main focus is on the use of renewable energy sources, passive design, intelligent control systems, as well as building certification according to LEED and BREEAM standards. Examples of successful projects are given, such as the Primary School of Science and Biodiversity in Paris and the Cultural and Educational Center of Choarwatta, which demonstrate the importance of implementing energy-efficient technologies to create comfortable and sustainable educational spaces. In addition, innovative materials and technologies that contribute to reducing energy consumption and creating a comfortable learning environment are considered. Particular attention is paid to the role of school buildings in forming environmental awareness in students, which is an important element in the education of future generations. The significance of these processes, namely the integration of natural resources into the field of architecture for the development of environmental and economic sustainability, particularly emphasizes their importance.

Keywords: artificial intelligence, energy efficiency, architecture, LEED, BREEAM.

References

1. Povyshenie energoeffektivnosti vo Francii: opyt A.R.I.E.L. i vysshej inzhenernoj shkoly Parizha (MINES-ParisTech) Baldin V.Yu., Selezneva I.S. – [Elektron.resurs] – URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/88808/1/eir_2014_1_002.pdf (data obrasheniya: 14.10.2024)
2. Energoeffektivnaya shkola: kak ekonomit dengi Azarova Elena Vladimirovna, Zadirako Irina Nikolaevna, Pletner Yuriy Dmitrievich, Shimutina Elena Nikolaevna – [Elektron.resurs] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/energoeffektivnaya-shkola-kak-ekonomit-dengi> (data obrasheniya: 14.10.2024)

3. Improvement of efficiency through an energy management program as a sustainable practice in schools Fadi AlFaris, Adel Juaidi, Francisco Manzano-Agugliaro – [Elektron.resurs] – URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.172> (data obrasheniya: 14.10.2024)

4. Primary School For Sciences And Biodiversity / Chartier Dalix Architectes – [Elektron.resurs] - URL: https://www.archdaily.com/585862/primary-school-for-sciences-and-biodiversity-chartier-dalix-architectes/54b0896de58ece982700004d-chartierdalix_blg_vue_du_parvis_facade_sud-david_foessel-jpg (data obrasheniya: 14.10.2024)

5. Mirovoj opyt formirovaniya shkolnyh zdaniy na osnove energosberegayushih tehnologij Smolina S.I., Kiseleva O.V. – [Elektron.resurs] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mirovoy-opyt-formirovaniya-shkolnyh-zdaniy-na-osnove-energoberegayuschih-tehnologiy?ysclid=m16fk8icgt228363214> (data obrasheniya: 14.10.2024)

6. Iskusstvennyj intellekt kak komponent innovacionnogo sodержaniya obshego obrazovaniya: analiz mirovogo opyta i otechestvennye perspektivy Sadykova Albina Rifovna, Levchenko Irina Vitalevna – [Elektron.resurs] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-kak-komponent-innovacionnogo-soderzhaniya-obshego-obrazovaniya-analiz-mirovogo-opyta-i-otchestvennye/viewer> (data obrasheniya: 14.10.2024)

7. Čoarvemátta Cultural and Educational Hub / Snøhetta + 70°N arkitektur + Joar Nango – [Elektron.resurs] – URL: https://www.archdaily.com/1020438/coarvematta-cultural-and-educational-hub-snohetta?ad_medium=gallery (data obrasheniya: 14.10.2024)

8. Edgewood High School Alumni Hall (Zal vypusnikov Edzhvudskoj srednej shkoly) – [Elektron.resurs] – URL: <https://www.abcwi.org/projects-of-distinct/edgewood-high-school-alumni-hall/> (data obrasheniya: 14.10.2024)

9. Zakon Respubliki Kazahstan «Ob energosberezhenii i povyshenii energoeffektivnosti» – [Elektron.resurs] – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z1200000541> (data obrasheniya: 14.10.2024)

10. Plan meropriyatij po realizacii Konceptcii po perekhodu Respubliki Kazahstan k "\"zelenoj ekonomike\" na 2021-2030 gody – [Elektron.resurs] – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2000-000479> (data obrasheniya: 14.10.2024)

11. Comprehensive Review of the Advancements, Benefits, Challenges, and Design Integration of Energy-Efficient Materials for Sustainable Buildings Yahya Alassaf – [Elektron.resurs] – URL: <https://doi.org/10.3390/buildings14092994> (data obrasheniya: 14.10.2024)

12. Green architecture and energy efficiency: a review of innovative design and construction techniques Aniekan Akpan Umoh, Adedayo Adefemi, Kenneth Ifeanyi Ibewe – [Elektron.resurs] – URL: <https://doi.org/10.51594/estj.v5i1.743> (data obrasheniya: 14.10.2024)

Сведения об авторах:

Садыкова С.Ш. – автор для корреспонденции, кандидат архитектуры, ассоц. профессор, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, 010000, Астана, Казахстан.

Сайлаубеков А.А. – бакалавр по архитектуре, магистрант, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, 010000, Астана, Казахстан.

Sadykova S.Sh. – corresponding author, Candidate of Architecture, Associate professor of the Eurasian National University named after. L.N. Gumilyov, 13 Kazhymukan str, 010000, Astana, Kazakhstan.

Sailaubekov A.A. – Bachelor's degree in Architecture, Master's student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazymukan str. 13, 010000, Astana, Kazakhstan.

Садықова С.Ш. – хат-хабар авторы, сәулет ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің ассоц. профессоры, Қажымұқан көшесі 13, 010000, Астана, Қазақстан.

Сайлаубеков Ә.А. – Сәулет саласындағы бакалавр дәрежесі, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің магистранты, Қажымұқан көшесі 13, 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/>).



МРНТИ 67.07.01

Научная статья

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-150-1-203-212>

Историческое развитие торговых объектов социальной инфраструктуры города Астана

Д.Е. Сарсембаева*^{id}

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

(E-mail: dinara5431@mail.ru)

Аннотация. В городском планировании объекты социальной инфраструктуры являются важной составляющей частью развития города, что оказывает влияние на градостроительную структуру. Планировочная структура города основана зданиями территории исторического центра. Данное исследование построено на изучении объектов социальной инфраструктуры сферы торговли. Целью исследования является рассмотрение исторического развития торговых объектов социальной инфраструктуры. Актуальность исследования определяется выявлением особенностей объектов социальной инфраструктуры в городском планировании. В работе проведено изучение и анализ опыта формирования торговых объектов социальной инфраструктуры на примере города Астаны. Методология исследования включает изучения исторического развития учреждений обслуживания в научной литературе по гуманитарным и общественным наукам. В результате исследования выявлены исторические особенности проектирования: формирование на основе исторического центра; формирование вблизи водных ресурсов; развитие на пересечении главных магистралей. Практическая значимость работы заключается в возможности проектирования данных учреждений с учетом данных особенностей.

Ключевые слова: социальная инфраструктура, учреждения обслуживания, сфера торговли, планировочная структура, центры.

Поступила 31.01.2025. Доработана 05.03.2025. Одобрена 17.03.2025. Доступна онлайн 31.03.2025

*¹автор для корреспонденции

Введение

В настоящее время планировочная структура городов подвержена постоянным изменениям благодаря воздействию градостроительным факторам. В структуре города объекты социальной инфраструктуры являются учреждениями, которые могут обеспечить полноценное качество обслуживания [1]. В этой связи изучение объектов социальной инфраструктуры направлено на развитие общественных благ.

Изучение градостроительных факторов обосновывает необходимость учета данных моментов при проектировании городов, что позволяет отразить их взаимосвязь [2]. Исследование особенностей эволюции планировочной структуры городов представляет широкий спектр для последующих изысканий в области социальной инфраструктуры. Важным моментом является рассмотрение объектов внутри города, которые расположены в исторической части города Астана [3,4]. Данные объекты сохраняя историческое значение отражают основные принципы размещения внутри города. Объекты социальной инфраструктуры в застройке города сформированы в результате длительного исторического процесса, что особо выделяет значение данных территорий. Рассмотрение особенностей формирования объектов социальной инфраструктуры позволяет применять наработки в области практического проектирования архитекторам.

Актуальность изучения данных особенностей выявляется в процессе изучения вопросов в научной литературе разного направления, в практике градостроительного проектирования городов. В следствии этого подтверждается необходимость комплексного исследования существующих объектов социальной инфраструктуры города, что объединяет характерные особенности.

Цель данного исследования – выявить особенности размещения торговых объектов социальной инфраструктуры для улучшения учреждений обслуживания. С этой целью проводится анализ исторического процесса формирования зданий торговли в городе Астана с начала XIX века.

Значение данной работы выявляется в необходимости учета исторических особенностей торговых объектов социальной инфраструктуры города при проектировании планировочной структуры .

Методология

Методология исследования включает следующее:

- изучение исторического развития торговых объектов социальной инфраструктуры города Астаны;
- изучение статистических данных, позволяющее отразить наличие торговых объектов социальной инфраструктуры в определенные годы;
- изучение и анализ данных научных источников, которые рассматривают вопрос планировочной структуры города в различных направлениях;
- фотофиксация исторических торговых зданий позволила отразить существующее развитие учреждений.

Результаты и обсуждение

Объекты социальной инфраструктуры города Астаны сформировались в результате исторического процесса с начала XIX века. В настоящее время процесс формирования объектов социальной инфраструктуры продолжает свое развитие. Объекты социальной инфраструктуры в планировочной структуре города охватывают основные периоды формирования, которые подвержены влиянию природно-климатических, социально-экономических факторов.

1.1. Торговые объекты социальной инфраструктуры будучи одной из исторически важных сфер на территории Северных городов Казахстана формируют часть социальной инфраструктуры. Исторически данные территории для будущих городов закрепились благодаря Великому Шелковому пути, проходивший на территории Казахстана. Активные торгово-экономические отношения в регионе повлияли на развитие торговых объектов социальной инфраструктуры. Организация и проведение ярмарок содействовало основанию торговых объектов на обширных центральных территориях города (рисунок 1).

С начала XIX века город Акмолинск (ныне Астана) значительно территориально вырос. Одним из факторов, оказавших влияние на развитие города явилось расположение города – центра на пересечении основных направлений "караванных" путей. В регионе данное значение проявилось с проведением Кояндинской (1848 г.) и Константиновской (1852 г.) ярмарки.

Наряду с другими объектами социальной инфраструктуры в 1836 году в крепости насчитывались торговые ряды, торговые лавки, мелкие мастерские жителей. В свою очередь это обусловило строительство сопутствующих объектов социальной инфраструктуры, как банк, почта [3,5].



Рисунок 1. Вид на торговые ряды, дом купца Кубрина

Примечание: составлено на основании данных [2,5]

Массовые переселения крестьян в конце XIX века повлияли на увеличение населения и вместе с этим послужили причиной к строительству большего количества домов купцов (Дом Кубрина, Моисеева).

Строительство данных объектов происходило на центральных улицах. Подобно ярмаркам, возникающих на многолюдных площадях старых городов, торговые учреждения привлекают большое количество населения в течении дня.

Данные объекты получили распространение на территории центральных улиц, что послужило основой к появлению еще большего количества общественных зданий кроме торговли.

Так строительство объектов социальной инфраструктуры, как магазины купцов, банков способствовали развитию торговли в крепости. Местное купеческое население выступало меценатами строительства школ наряду с торговыми объектами. В 1929 году вопрос прокладки железно-дорожного сообщения был поддержан представителями купеческого сословия области. Данные меры дополнительно поддержали темпы развития торговой сферы.

Необходимо отметить, что сфера торговли позволила привнести в 1830-1916 годы минимальные требования обслуживания в место проживания населения. Данная сфера включает механизм частных интересов, где заинтересованность собственника выше. Появление торговых объектов оказало влияние на развитие смежных отраслей, как банковские операции, гостиничный бизнес, транспорт и т.д. Торговые объекты закрепили наиболее обширное центральное место для развития градостроительного узла.

1.2. Период развития объектов с 1916 года показывает важность зданий, сформированных на центральной площади. Дальнейший рост количества торговых зданий города связан со следующими событиями: строительство пристанционного поселка в 1929 году; строительство домов в военные и послевоенные годы 1941-1955 годы [6-8].

В послевоенные годы активно строились многоквартирные дома на привокзальной площади. На данных участках выстраивались клубы, детские сады внутри микрорайонов.



Рисунок 2. Вид на магазины "Москва", "Колос"

Примечание: составлено на основании данных [2,5]

В годы освоения целины 1954-65 годы был выстроен значительный жилой фонд. Вдоль главных магистралей и на их пересечении появились крупные торговые объекты "Весна", "Колос", "Москва" (рисунок 2).

В 1965-91 годы связаны с появлением торговых объектов, которые оказывали широкий спектр услуг – Дом быта [9]. Торговым объектом, предоставляющий качественные товары разных марок, являлся Центральный универсальный магазин (1981г.). Торговые универсальные учреждения располагались на главных магистралях города и центральной площади.

В 1916-1990 годы произошел территориальный рост города, значительно увеличилось население города с 15 тысяч в 1928 году до 287 тысяч в 1990 году. Объекты социальной инфраструктуры в планировочной структуре города значительно увеличились, что повлияло на их качественные черты.

В данные годы торговые объекты социальной инфраструктуры расширили наименование товаров, что выделило их универсальность. Стали появляться учреждения сочетающие разные сферы услуг, как прачечная, аптеки, ремонт обуви, ателье и др. Такие объекты размещались на крупных магистралях города и на их пересечении, образуя градостроительные узлы. Исторический центр и градостроительные узлы сосредотачивали объекты торгового (магазины), культурного (конгресс холл, театр) и спортивного назначения. При этом размещение данных объектов по главным магистралям обуславливало обустройство прогулочных аллей у дорог.

1.3. С 1991 по настоящее время с приобретением независимости Республики Казахстан, а также с переходом на рыночную экономику сфера торговли приобрела большие масштабы, увеличилось количество частных объектов торговли.

Учреждения торговли стали торговыми домами с большим ассортиментом товаров. В данный период торговые дома строились в крупных микрорайонах города, что связано с ростом населения и необходимостью обеспечения населения учреждениями обслуживания.

В 2000 годы торговые учреждения стали совмещаться с другими сферами услуг в одном здании, как рестораны, супермаркеты, кинотеатры, фитнес, парикмахерские и салоны красоты, автомойка. Это выделило социальную роль данных учреждений в городе, как мест крытых рекреаций (досуга) на основе торговли. Многофункциональность торговых объектов обосновало строительство большого числа торгово-развлекательных центров ("Керуен сити" 2007г.; "Керуен" 2008г.; "Хан Шатыр" 2010г.; "Мега Силк Вэй" 2017г.). Данные объекты размещаются на пересечении главных магистралей города, образуя крупные градостроительные узлы (рисунок 3).

Важно отметить социальную составляющую в современных объектах торговли. Современные торгово-развлекательные комплексы в городе концентрируют большое количество функций в одном здании, что обуславливает развитие учреждений других сфер услуг.

Дальнейшее развитие торговых объектов состоит в организации крупных масштабов торговли, что повышает значение городов и объектов обслуживания в них.

Торгово-экономические отношения в регионе стимулировали развитие такой инфраструктуры, как гарантированные рынки сбыта, их организацию в городе в виде крупных складов. Наличие логистического хаба в городе и сопутствующая цифровая инфраструктура может развивать данную отрасль. Так электронная коммерция может

реализовать основные вопросы по приближению объектов социальной инфраструктуры к потребителю.

В связи с этим можно выделить способность торговых зданий сосредотачивать большое количество населения в участках города. Это свойство позволяет в относительно короткий срок развить условия жизни населения в месте проживания; выделить место размещения и развить его в общественный центр.



Рисунок 3. Вид на здания ТРЦ "Керуен сити", ТРЦ "Мега Силк Вэй"

Примечание: составлено на основании данных [4,5]

В результате изучения исторических этапов выявлено, что торговые объекты являются учреждениями ежедневного пользования, что выделяет их универсальную роль в формировании центров. На основе данной черты есть необходимость их группирования с другими учреждениями. Также учреждения торговли имеет отличительную гибкость в наименовании и размещении в составе общественных центров.

Объекты торговли достаточно активно связаны с ежедневным обслуживанием, так как являются объектами приближающие результаты производства к потребителю. Благодаря тому что большая часть учреждений находятся в частной собственности, они имеют возможность быстро адаптироваться под нужды потребителя. Данная конкурентная среда позволяет спроектировать лучшие современные объекты.

В XIX веке произошло расширение связей в области торговли вместе с с преселенческими тенденциями в регионе. В современное время торговля также играет роль усиления связей между народами в культурном отношении.

Заключение

Торговые объекты социальной инфраструктуры способны концентрировать большое количество функций и задач. При проектировании торговых объектов социальной инфраструктуры необходимо учитывать данные особенности:

- в архитектурно-планировочной структуре города данные объекты способны концентрировать сферу услуг и большое количество населения, которое включает не только занятое население, но и то которое стремится получить обслуживание;
- усиливается роль объектов обслуживания, так объекты социальной инфраструктуры значимы как объекты в которых сосредоточена социальная жизнь;

– торговые объекты в этом смысле представляют большую перспективу для развития, так как данные объекты являются частной собственностью. Для отрасли характерно быстрое замещение существующего спроса в новых строениях и новых микрорайонах;

– объекты малого бизнеса способствуют освоению территории и увеличению населения на данном участке микрорайона. Так возможно привлечение большего числа инвестиций для размещения объектов социальной инфраструктуры других отраслей при размещении на участках с доступом к главным магистралям.

Объекты социальной инфраструктуры сферы торговли играют роль формирования общественного центра. Сфера торговли обладая более гибкой системой способна образовывать центр более в короткие сроки. Для этого необходимо организация учреждений торговли на участках, которые находятся на пересечении дорог или вблизи главных магистралей.

Благодарность, конфликт интересов

Источники финансирования – из собственных средств автора.

Конфликт интересов – отсутствует.

Вклад авторов

Сарсембаева Д.Е. – концепция, идея, модель и дизайн исследования, сбор и анализ данных, интерпретация результатов работы, написание текста, критический пересмотр его содержания, утверждение окончательной версии.

Список литературы

1. Яргина З.Н., Хачатрян К.К. Социальные основы архитектурного проектирования. - М.: Стройиздат, 1990. - 343 с. - книга
2. Тоскина В. В. Эволюция архитектурно-планировочной структуры. : На примере Акмолинской области: автореферат дис....канд. техн. наук. - Новосибирск, 2002. - 28 с. - Автореферат диссертации
3. Чекаев Ф.М. Истоки и эволюция архитектуры Астаны (Акмолы) 1830-1991 годов: автореферат дис.... канд. Архитектуры. - Алматы, 2009. - 30 с. - Автореферат диссертации
4. Kornilova A.A., Khorovetskaya Ye.M., Sarsembayeva D.Ye. et al. Territory Management: Urban Planning and Recreational Planning of Populated Areas in the Republic of Kazakhstan in the Second Half of the 20th Century //Journal of Environmental Management and Tourism, 10(6), 1295-1302 (2019), DOI: [https://doi.org/10.14505//jemt.v10.6\(38\).11](https://doi.org/10.14505//jemt.v10.6(38).11)
5. Дубицкий А.Ф. Пройдемся по улицам Целинограда. - Целиноград: Изд-во Целиноградского областного комитета Коммунистической партии Казахстана, 1990. - 112 с. - книга
6. Народное хозяйство Казахстана за 70 лет : статистический сборник / Государственный комитет Казахской ССР по статистике.-Алма-Ата,1990.-391с.- статистический сборник
7. Туякаева А.К., Данибекова Э.Т., Абдрасилова Г.С., Онищенко Ю.В. Региональная идентичность в архитектуре жилой застройки 1930-1990-х гг. города Караганда// QazBSQA Хабаршысы. Сәулет. -2023.-№4 (90)-С.62-76. <https://doi.org/10.51488/1680-080X/2023.4-05-> журнал

8. Abdrassilova G., Danibekova E., Tuyakayeva A., Syzdykova A. Architecture of Almaty in the 20th century: in search of cultural identity// QazBSQA Хабаршысы, Сәулет.- 2024.-4(94)-С.8-23. <https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.4-01> - журнал

9. Глаудинов Б. А. История архитектуры Казахстана. Алматы: КазГАСА, 1999.- 295 с. - книга

Д.Е.Сарсембаева

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

Астана қаласының әлеуметтік инфрақұрылымындағы сауда объектілерінің тарихи даму

Аңдатпа. Қала құрылысында әлеуметтік инфрақұрылым нысандары қала құрылымына әсер ететін қала дамуының маңызды бөлігі болып табылады. Қаланың жоспарлау құрылымы тарихи орталық аумағының ғимараттарымен құрылған. Бұл зерттеу сауда саласындағы әлеуметтік инфрақұрылым объектілерін зерттеуге негізделген. Зерттеудің мақсаты әлеуметтік инфрақұрылымның сауда объектілерінің тарихи дамуын қарастыру болып табылады. Зерттеудің өзектілігі қала құрылысындағы әлеуметтік инфрақұрылым объектілерінің ерекшеліктерін анықтаумен анықталады. Жұмыста Астана қаласының мысалында әлеуметтік инфрақұрылымдағы сауда объектілерін қалыптастыру тәжірибесін зерделеу және талдау жүргізілді. Зерттеу әдістемесі гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдар бойынша ғылыми әдебиеттердегі қызмет көрсету мекемелерінің тарихи дамуын зерттеуді қамтиды. Зерттеу нәтижесінде жобалаудың тарихи ерекшеліктері анықталды: тарихи орталық негізінде қалыптастыру; су ресурстарына жақын жерде қалыптастыру; негізгі магистральдардың қиылысында даму. Жұмыстың практикалық маңыздылығы-осы ерекшеліктерді ескере отырып, осы мекемелерді жобалау кезінде қарастыру.

Түйін сөздер: әлеуметтік инфрақұрылым, қызмет көрсету мекемелері, сауда саласы, жоспарлау құрылымы, орталықтар.

D.Ye.Sarsembayeva

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

Historical development of trade facilities of social infrastructure of Astana city

Abstract. In urban planning, social infrastructure facilities are an important component of city development, which affects the urban development structure. The planning structure of the city is based on the buildings of the historical center. This study is based on the study of social infrastructure facilities in the trade sphere. The purpose of the study is to consider the historical development of trade social infrastructure facilities. The relevance of the study is determined by the identification of the features of social infrastructure facilities in urban planning. The work studies and analyzes the experience of forming trade social infrastructure facilities using the example of Astana. The research methodology includes studying the historical development of service institutions in the scientific literature on the

humanities and social sciences. As a result of the study, the following historical design features were identified: formation based on the historical center; formation near water resources; development at the intersection of main highways. The practical significance of the work lies in the possibility of designing these institutions taking into account these features.

Keywords: social infrastructure, service institutions, trade sphere, planning structure, centers.

References

1. Yargina Z.N., Hachatrjanc K.K. Social'nye osnovy arhitekturnogo proektirovaniya [Social foundations of architectural design] (Moscow, 1990. 343 p.) [in Russian]
2. Toskina V.V. Jevoljucija arhitekturno-planirovochnoj struktury naselennyh punktov Severnogo Kazahstana v XIX-XX vv. : Na primere Akmolinskoj oblasti : avtoreferat dis. ... kandidata arhitektury : 18.00.01 [Evolution of the architectural planning structure of settlements in Northern Kazakhstan in the 19th-20th centuries] (Novosibirsk, 2002. 28 p.) [in Russian]
3. Chekaev F.M. Istoki i jevoljucija arhitektury Astany (Akmoly) 1830—1991 gody: avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata arhitektury: 18.00.01 [Origins and evolution of the architecture of Astana (Akmola) 1830-1991] (Almaty, 2009. 30 p.) [in Russian]
4. Kornilova A.A., Khorovetskaya Ye.M., Sarsembayeva D.Ye. et al. Territory Management: Urban Planning and Recreational Planning of Populated Areas in the Republic of Kazakhstan in the Second Half of the 20th Century // Journal of Environmental Management and Tourism, 10(6), 1295-1302 (2019), DOI: [https://doi.org/10.14505//jemt.v10.6\(38\).11](https://doi.org/10.14505//jemt.v10.6(38).11)
5. Dubitsky A.F. Proydyemsa po ulitsam tselinograda. [Let's walk along the streets of Tselinograd] (Tselinograd, 1990. 112 p. [in Russian]
6. Narodnoe hozyajstvo Kazahstana za 70 let: statisticheskij sbornik. [National economy of Kazakhstan for 70 years]. (State committee of the Kazakh SSR on statistics. – Alma-Ata, 1990. 391 p. [in Russian]
7. Tuyakaeva A.K., Danibekova E.T., Abdrasilova G.S., Onishchenko Yu. Regional'naya identichnost' v arkhitekture zhiloy zastrojki 1930-1990-kh gg. goroda Karaganda [Regional identity in the architecture of residential buildings in the 1930s-1990s of the city of Karaganda] QazBSQA Habarshysy. Sәulet.4(94).62-76(2023). <https://doi.org/10.51488/1680-080X/2023.4-05> [in Russian]
8. Abdrasilova G., Danibekova E., Tuyakayeva A., Syzdykova A. Architecture of Almaty in the 20th century: in search of cultural identity // QazBSQA Хабаршысы, Сәулет.4(94).8-23(2024). <https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.4-01>
9. Gladinov B. A. Istoriya arhitektury Kazahstana. [The history of architecture in Kazakhstan] (Almaty, 1999. 295 p.) [in Russian]

Сведения об авторах:

Сарсембаева Д.Е. – автор для корреспонденции, доктор PhD по специальности "Архитектура", и.о.доцент кафедры "Архитектура", Архитектурно-строительный факультет, Евразийский

национальный университет им. Л.Н. Гумилева, 10000 Республика Казахстан г. Астана, ул. Кажымухана, 13, учебный корпус №6, E-mail: dinara5431@mail.ru

Sarsembayeva D.Ye. – corresponding author, Doctor PhD in the specialty "Architecture", Acting Associate Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Civil Engineering, Eurasian National University. L.N. Gumilyov, 10000 Republic of Kazakhstan, Astana, st.Kazhymukhana, 13, educational building No. 6, E-mail: dinara5431@mail.ru

Сарсембаева Д.Е. – хат-хабар авторы, "Сәулет" мамандығы бойынша PhD докторы, доцент м.а., "Сәулет" кафедрасы, Сәулет-құрылыс факультеті, Еуразия ұлттық университеті. Л.Н. Гумилева, 10000 Қазақстан Республикасы, Астана қ., Қажымұқанк-сі, 13, №6 оқуғимараты, E-mail: dinara5431@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 73.43.61

Научная статья

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-150-1-213-225>

Оптимизация размещения остановок общественного транспорта

Б.У. Жаманбаев^{1*}, Г.К. Саменов¹, У.Ш. Кокаев¹, Ж.Р. Алипбаев¹,
А.А. Каражанов¹

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Республика Казахстан

(E-mail: zhaman78@gmail.com)

Аннотация. В статье рассматривается исследование доступности общественного транспорта как важного инструмента повышения социальной интеграции в Республике Казахстан. Особое внимание уделено анализу факторов, влияющих на движение пешеходов до остановок общественного транспорта и на поездки пассажиров. Представлена двухступенчатая теоретико-экспериментальная модель взаимодействия пешеходов и общественного транспорта, направленная на оптимизацию мест расположения остановок и улучшение транспортной инфраструктуры. Использование метода априорного ранжирования факторов позволяет выделить наиболее значимые из них, такие, как расстояние, время подхода, скорость пешехода и климатические условия. Применение теории подобия и размерностей помогает точнее прогнозировать поведение систем в различных условиях, что способствует более эффективному планированию транспортных сетей. Используя теорию размерности, предлагается новая математическая модель обоснования мест расположения остановок общественного транспорта. Итогом эксперимента является определение мест расположения остановок для поездок в общественном транспорте.

Ключевые слова: городской общественный пассажирский транспорт; пешеходная доступность, анкета, остановка общественного транспорта, теория размерности, априорное ранжирование факторов.

Поступила 21.02.2025. Доработана 04.03.2025. Одобрена 18.03.2025. Доступна онлайн 31.03.2025

¹автор для корреспонденции

Введение

Общественный транспорт играет ключевую роль в обеспечении доступа к различным видам деятельности и услугам. Он оказывает значительное влияние на такие аспекты, как пространственная доступность, затраты, физические барьеры, информационная прозрачность и отношение граждан. Эти факторы формируют мотивацию и способность населения активно использовать общественный транспорт.

Исследование доступности общественного транспорта как инструмента повышения социальной интеграции в Республике Казахстан направлено на совершенствование его использования [1,2]. Важно отметить, что развитие транспортной инфраструктуры в Казахстане следует общей тенденции стран Восточной Европы. Однако за последние десятилетия наблюдается доминирование индивидуального транспорта, что привело к снижению доли пассажиров, пользующихся услугами общественного транспорта.

Для изучения этих изменений был выбран город Тараз, расположенный на юге Республики Казахстан. Согласно данным Бюро национальной статистики РК [3], численность населения Тараза, в 2003 году составлявшая 439 тыс. человек, на 1 декабря 2024 года увеличилась до 687,5 тыс. человек. Таким образом, за последние 20 лет население города увеличилось на 248,5 тыс. человек, что составило рост на 56,6%. Количество транспортных средств значительно возросло: количество автобусов увеличилось с 2,3 тыс. в 2003 году до 5,7 тыс. в 2023 году (рост 147,83%), количество грузовых автомобилей – с 9,9 тыс. до 23,8 тыс. (рост 140,4%), а количество легковых автомобилей – с 44,8 тыс. до 247,4 тыс. (рост 451,8%). Общее количество транспортных средств в 2003 году составляло 57 тыс. единиц, а в 2023 году – 277 тыс. единиц. Таким образом, общее количество транспортных средств увеличилось на 220 тыс., что составило рост на 386%.

Согласно «СНиП 3.01-01-2008, РК», расстояние между остановками общественного транспорта в черте города должно варьироваться от 400 до 800 метров [4]. Однако стоит отметить, что максимальное расстояние в 800 метров может создавать значительные неудобства для пассажиров, особенно для лиц с ограниченными возможностями передвижения, таких, как пожилые люди, инвалиды или родители с детьми. Важно учитывать, что для этой категории граждан такие расстояния могут быть труднодоступными, что снижает доступность общественного транспорта и препятствует его использованию. Поэтому рекомендуется оптимизировать расположение остановок с учётом потребностей различных групп населения, а также внедрять дополнительные меры для улучшения доступности транспорта для маломобильных граждан.

Общественный транспорт играет важную роль в обеспечении доступности различных видов деятельности и услуг, таких, как работа, образование, здравоохранение, шопинг и социально-развлекательные мероприятия. С ростом населения и увеличением числа индивидуальных транспортных средств города сталкиваются с проблемами, такими, как заторы, шум, выбросы углекислого газа, что приводит к повышению опасности для водителей и пешеходов. В связи с этим спрос на оптимизацию транспортной инфраструктуры возрастает, включая необходимость строительства новых дорог и

развилок, а также улучшения пропускной способности существующих дорог [5,6,7]. Однако исследования показали, что улучшение инфраструктуры мегаполисов решает эти проблемы лишь временно и может даже способствовать развитию кризиса функционирования городской среды. Важно учитывать, что улучшение систем общественного транспорта становится необходимым элементом решения проблемы заторов [8,9,10]. Одним из ключевых факторов эффективного использования общественного транспорта является доступность маршрутной сети, в частности, удобное расположение остановок для пассажиров [11].

Целью данной статьи является исследование мест дислокации остановок общественного транспорта, что позволяет определить точки пересечений пешеходных перемещений и факторы, влияющие на их доступность. Остановка должна отвечать современным требованиям, обеспечивая комфорт для пассажиров, особенно при неблагоприятных погодных условиях [12]. Время ожидания транспорта является важным аспектом, так как хорошо подготовленный пешеход может выдержать воздействие низких или высоких температур только на протяжении 8-10 минут. Это подчеркивает необходимость создания таких остановок, которые минимизируют время ожидания [12].

Места дислокации пассажиров являются индикатором пространственного равенства и уровня обслуживания общественного транспорта [13], что важно для повышения комфортности и увеличения пассажиропотока. Исследования мест дислокации помогают планировщикам учитывать удобство пользователей при размещении транзитных остановок [14]. Существующие методы измерения мест дислокации, основанные на расчете пешеходных расстояний до точек доступа, продолжают развиваться [15]. Однако сбор данных с использованием традиционных методов является дорогостоящим и трудоемким процессом, что требует усовершенствования подходов к оценке доступности [17]. В статье [18] предлагается новый метод исследования мест дислокации пассажиров, основанный на двустадийной теоретико-экспериментальной модели взаимодействия пешехода и общественного транспорта при пассажирских перевозках, что позволит повысить эффективность анализа и планирования транспортных сетей.

Методология

Априорное ранжирование факторов

На основании обширных исследований и взглядов предшественников можно выделить несколько ключевых факторов, влияющих на готовность пассажиров двигаться к остановкам общественного транспорта. Важнейшими из них являются минимальное расстояние и время, необходимое для того, чтобы пассажир мог добраться до остановки. Помимо этого, следует учитывать индивидуальные характеристики пешеходов, местоположение остановок, особенности транспортных линий и погодные условия.

Процесс ранжирования факторов, влияющих на поведение пешеходов, можно разделить на несколько этапов, используя примеры из научных работ, консультации с экспертами и методы мозгового штурма. Исходя из этого, можно выделить факторы, которые влияют на место расположения и потоки пешеходов, направляющихся к

остановке, а также на сочетание времени накопления пассажиров на предыдущих остановках.

На основе вышеизложенных данных составлен перечень факторов, воздействующих на исследуемый параметр, и определена область их применения. Все эти факторы были включены в анкету, предназначенную для опроса. Предполагается, что данные факторы оказывают влияние на формирование пассажиропотока на городских остановках. Для выделения наиболее существенных факторов был использован метод априорного ранжирования, который позволяет оценить важность каждого фактора [19,20].

Для проведения априорного ранжирования факторов было проведено анкетирование 50 респондентов, среди которых были профессора, преподаватели, инженеры, студенты и другие специалисты, связанные с пассажирскими перевозками. В ходе опроса респонденты оценивали важность каждого из факторов, присваивая им ранги по порядковой шкале от 1 до 8, где фактор с наибольшим влиянием получал ранг 1.

Данные анкетирования были обработаны с использованием формул для вычисления суммы рангов и средней суммы рангов. Далее на основе полученных данных был рассчитан коэффициент конкордации (W), который позволил оценить степень согласованности мнений респондентов. Результаты показали, что коэффициенты конкордации для первой стадии ($W=0,77$) и второй стадии ($W=0,72$) находятся в пределах значений, свидетельствующих о хорошей согласованности мнений респондентов.

Из результатов ранжирования факторов, представленных на рисунках 1 и 2, видно, что для движения пешеходов до остановки наибольшее влияние оказывают такие факторы, как расстояние (l), время подхода (t_1), скорость пешехода (v) и климатическая температура (θ). Для поездки в общественном транспорте наибольшее значение имеют время поездки (t_2), скорость движения транспорта (v_a), расстояние до транзитной остановки (l_a) и интенсивность движения транспорта (J).

В результате априорного ранжирования факторов, влияющих на поведение пешеходов и пассажиров общественного транспорта, установлено, что наиболее значимыми для движения пешеходов являются расстояние до остановки, время подхода, скорость пешехода и климатическая температура. Для поездки в транспорте наибольшее влияние оказывают время поездки, скорость движения транспорта, расстояние до транзитной остановки и интенсивность движения. Метод априорного ранжирования, подтвержденный высокой степенью согласованности мнений респондентов, позволяет выделить наиболее значимые факторы для оптимизации пассажиропотока и улучшения транспортной инфраструктуры.

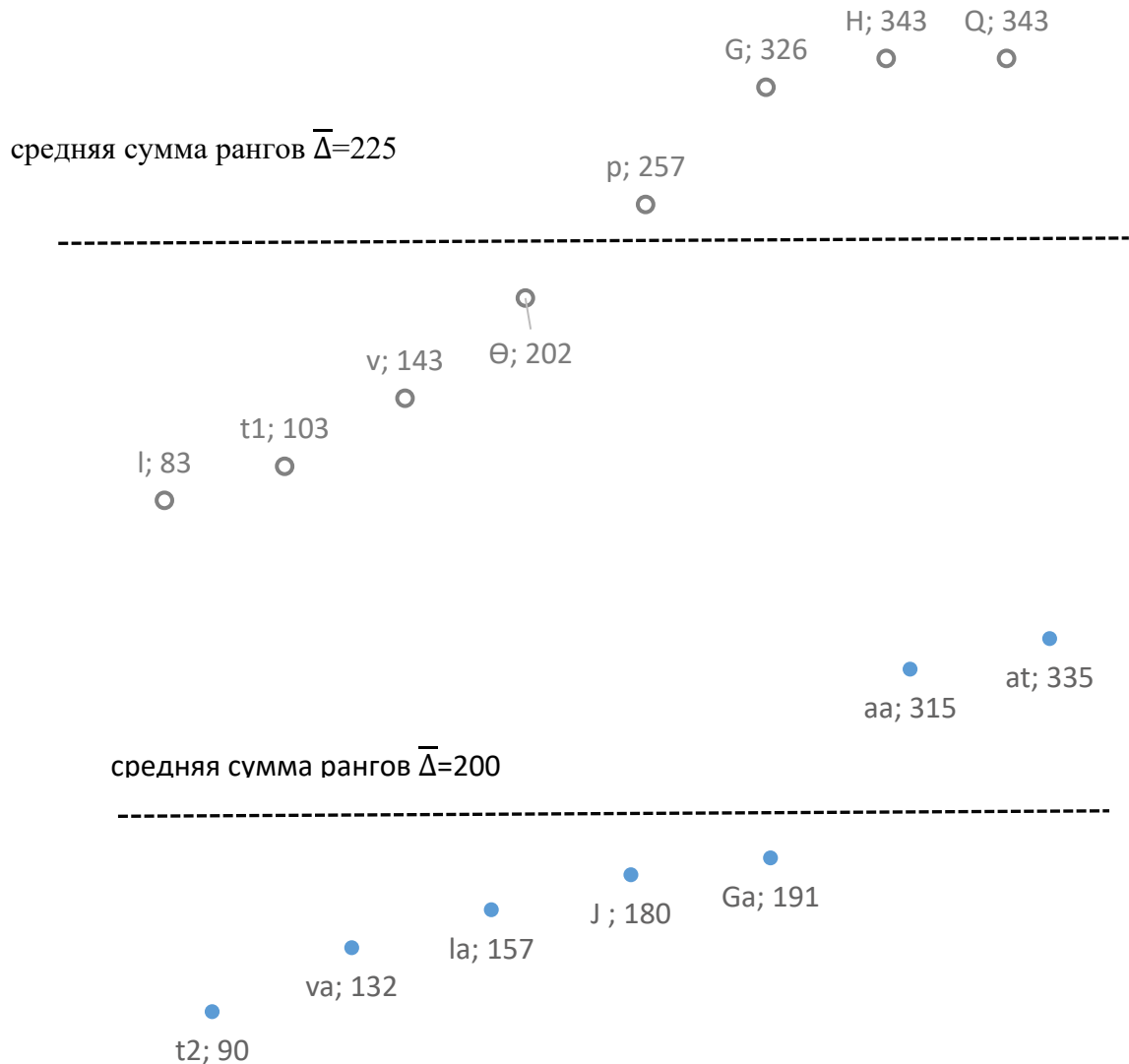


Рисунок 4. Факторы, влияющие на поездку пассажира до транзитной остановки, по сумме рангов.

Результаты и обсуждения

В рамках проектирования и моделирования в данном вопросе целесообразно использовать теорию подобия и размерностей [21,22]. Эта теория представляет собой важное направление в научных исследованиях. Использование принципов подобия и размерности помогает в анализе масштабируемости процессов, сокращении числа необходимых экспериментов и более точном прогнозировании поведения систем в различных условиях.

Достоинства метода размерностей – быстрая оценка масштабов исследуемых явлений; получение качественных и функциональных зависимостей. Чтобы составить формулу размерности, для каждой основной величины вводим обозначение единицы

значимых переменных для измерения описания движения пешеходов до остановки и поездки пассажира до транзитной остановки, таблица 6.

Таблица 1. Размерность физической величины

№ п/п	Название переменной	Обозначение	Формула размерности	Единица измерения
1	Время подхода к остановке	t_1	T	c
2	Расстояние, пройденное пешеходом до остановки транспорта	l	L	m
3	Скорость пешехода	v	LT^{-1}	m/c
4	Климатическая температура окружающей среды	θ	$ML^2 T^{-2}$	K
5	Время поездки в транспорте, с	t_2	T	c
6	Скорость движения транспорта	v_a	LT^{-1}	m/c
7	Вес общественного транспорта	G_a	MLT^{-2}	$кг \cdot c^2$
8	Интенсивность движения общественного транспорта	J	$N \cdot T^{-1}$	$ед./c$

1. На движение пешеходов до остановки, по мнению опрошенных респондентов, влияют следующие факторы L , t_p , v и θ . Таким образом, пользуясь методикой теории размерности [23], имеем:

(1)

$$t_1 = f(L, v, \theta, p)$$

$$T = (L)^\alpha * (LT^{-1})^\beta * (ML^2T^{-2})^\gamma \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Для } (T) \quad & 1 = -\beta - 2\gamma \\ \text{Для } (L) \quad & 0 = \alpha + \beta + 2\gamma \\ \text{Для } (M) \quad & 0 = \gamma \end{aligned} \quad (3)$$

Решая систему уравнения, имеем:

$$\alpha=1; \beta=-1; \gamma=0. \quad (4)$$

Подставляя найденные значения в основное тождество (2) и интерпретируя математические действия, а также вводя безразмерное соотношение типа $\frac{\theta}{p \cdot Q}$, имеем

(5)

$$t_1 = \left(\frac{L}{v}\right) \cdot f\left(\frac{\theta}{p \cdot Q}\right)$$

Анализируя формулу (11), можно констатировать, что на движение пешехода из места

дислокации до остановки влияет не только расстояние (кроме лестничных площадок, качества тротуаров), но и климатическое состояние окружающей среды (жаркое лето, холодная зима).

2. Поездка пассажира до транзитной остановки

На данной стадии важно учитывать множество факторов, влияющих на скорость и комфорт поездки. При выборе факторов были учтены взаимосвязи между ними, такие, как то, что величина « L_a » входит параметр « v_a », а отношение « a_a » к « a_t » является функцией. Следовательно, для более точного моделирования и анализа влияния этих факторов на поездку пассажира следует учитывать их взаимозависимость и функциональные связи.

$$t_2 = \varphi(v_a, J, \sum G_a) \tag{6}$$

$$T = (LT^{-1})^\alpha, (N * T^{-1})^\beta, (MLT^{-2})^\gamma \tag{7}$$

$$\begin{aligned} \text{Для (T)} \quad 1 &= -\alpha - \beta - 2\gamma \\ \text{Для (L)} \quad 0 &= \alpha + \gamma \\ \text{Для (M)} \quad 0 &= \gamma \end{aligned} \tag{8}$$

Вводим безразмерную величину в виде соотношения $\frac{a_a}{a_t}$.
Решая систему уравнения, имеем:

$$\alpha=0; \beta=-1; \gamma=0. \tag{9}$$

$$t_2 = const \left(\frac{1}{N * t^{-1}} \right) \cdot \varphi \left(\frac{a_a}{a_t} \right). \tag{10}$$

Однако, допуская, что $\frac{a_a}{a_t} \approx 1$, достигнут идеальный случай, когда происходит согласованность действия по движению пешехода и общественного транспорта, получаем:

$$t_2 = const \left(\frac{1}{N * t^{-1}} \right). \tag{11}$$

Выразив время движения общественного транспорта t через $\frac{L_a}{v_a}$, имеем:

$$t_2 = const \left(\frac{L_a}{N * v_a} \right). \tag{12}$$

Общая концепция теоретического и экспериментального обоснования

Основываясь на логическом осмыслении создавшегося положения, можно предположить следующее:

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\frac{L}{v} f\left(\frac{\theta}{p \cdot Q}\right)}{\frac{1}{N * t^{-1}} \cdot \varphi\left(\frac{a_a}{a_t}\right)}, \tag{13}$$

следовательно,

$$\frac{L}{v} f\left(\frac{\theta}{p \cdot Q}\right) \tag{14}$$

или с учетом скорости движения общественного транспорта

$$t_1 = \frac{L \cdot f\left(\frac{\theta}{p \cdot v}\right)}{\frac{L_a}{N \cdot v_a} \cdot \varphi\left(\frac{a_a}{a_t}\right)} * t_2 \quad (15)$$

Таким образом, учитывая то, что скорость движения общественного транспорта в различных государствах регламентирована, в частности, в Казахстане, в том числе в г. Тараз $v_a = 50 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, а экспериментальное определение скорости движения пешехода $\cong 3 \dots 4 \text{ км/ч}$, и учитывая вышеизложенные факторы при перемещении пешехода, а также снижение скорости движения общественного транспорта при перекрестках и поворотах, имеем

$$L_a \cong L \cdot \frac{50}{4} \cong (8 \dots 12.5) \cdot L . \quad (16)$$

Полученные зависимости (5,15,16) могут применяться при разработке и обосновании мест расположения остановок общественного транспорта.

Из полученных зависимостей (13, 14, 15, 16) можно сделать вывод, что они могут служить основой для разработки и обоснования оптимальных мест расположения остановок общественного транспорта. Эти зависимости позволяют учесть влияние различных факторов, таких, как скорость пешеходов и общественного транспорта, климатические условия и особенности инфраструктуры, что способствует более эффективному размещению остановок и улучшению качества транспортного обслуживания.

Заключение

Основные факторы, влияющие на движение пешеходов до остановки, включают расстояние, время подхода, скорость пешехода и климатические условия. Для поездки пассажиров наиболее важными являются время поездки, скорость транспорта и интенсивность движения.

Применение теории подобия и размерностей в анализе позволяет оценить масштаб исследуемых явлений и получить качественные функциональные зависимости.

Полученные зависимости могут быть использованы для разработки и обоснования оптимальных мест расположения остановок общественного транспорта, что улучшит доступность и качество транспортного обслуживания.

Для повышения комфорта пассажиров рекомендуется оптимизировать расположение остановок с учётом потребностей маломобильных граждан и учитывать влияние различных факторов, таких, как погодные условия и скорость движения общественного транспорта.

Формула (16) позволяет обосновать экономное движение общественного транспорта и определить величину скорости для ограничения в том или ином городе, районном центре и т.д.

Вклад авторов

Жаманбаев Б.У. – сбор и анализ данных, разработка математической модели, написание текста статьи, редактирование, координация работы коллектива, подготовка выводов и рекомендаций.

Кокаев У.Ш. – концептуальное мышление, анализ данных, участие в разработке модели, редактирование текста, критический анализ результатов, формулирование научных выводов.

Саменов Г.К. – сбор и обработка данных, анализ факторов влияния на транспортную доступность, участие в разработке методологии, опыт практического применения результатов исследования.

Алипбаев Ж.Р. – сбор данных, участие в анкетировании и обработке результатов, анализ климатических и инфраструктурных факторов, подготовка графических материалов.

Каражанов А.А. – разработка концепции исследования, методологии

Список литературы

1. Можарова, В. *Транспорт в Казахстане: современная ситуация, проблемы и перспективы развития*. Алматы: КИСИ при Президенте РК. 2011.- 216 р.
2. *Promoting Clean Urban Public Transportation and Green Investment in Kazakhstan. Green Finance and Investment*. OECD Publishing. Paris. 2017. 155 р.
3. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. <http://stat.gov.kz/>
4. СНиП РК 3.01-01-2008. *Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских населенных пунктов*. http://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30503178#pos=1;-240
5. Гудков, В.А. и др. *Пассажирские автомобильные перевозки*. Москва: Горячая линия. Телеком. 2006. 448 р.
6. Спирин, И.В. *Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования*. Москва: Издательство центр «Академия». 2010. 400 р.
7. Горев, А.Э., Олещенко, Е.М. *Организация автомобильных перевозок и безопасность движения*. Москва: Издательский центр «Академия». 2006. 256 р.
8. Dewan, K.K., Ahmad, I. *Carpooling: A Step To Reduce Congestion*. Engineering Letters. Vol. 14. 2007.
9. Gurmu, Z. K. *A Dynamic Prediction of Travel Time for Transit Vehicles in Brazil Using GPS Data*. Master thesis. University of Twente. The Netherlands. 2010. 67 р.
10. Lee, W. C., Si, W., Chen, L. J., Chen, M. C. *HTTP: A New Framework for Bus Travel Time Prediction Based on Historical Trajectories*. In: *Proceedings of the 20th International Conference on Advances in Geographic Information Systems*. SIGSPATIAL, 2012. P. 279-288
11. Ivan, I., Horak, J., Zajickova, L., Burian, J., Fojtík, D. *Factors Influencing Walking Distance to the Preferred Public Transport Stop in selected urban centres of Czechia*. *GeoScape*. 2019. Vol. 32(1). P.16-30.
12. Adams, E.J., Esliger, D.W. Taylor IM, Sherar L.B. *Individual, employment and psychosocial factors influencing walking to work: Implications for intervention design*. *PLoS ONE*. Vol. 12(2). 2017.
13. Morris, J.M., Dumble, P., Wigan, M.R. "Accessibility indicators for transport planning". *Transp. Res.*

Part A Gen. 1979. Vol. 13, No. 2, p. 91-109.

14. Sun, G., Webster, C., Chiaradia, A. "Objective assessment of station approach routes: Development and reliability of an audit for walking environments around metro stations in China". *J. Transp. Health*. 2017. Vol. 4. P. 191-207.

15. Jang, S. "Assessing the spatial equity of Seoul's public transportation using the Gini coefficient based on its accessibility", *International Journal of Urban Sciences*. 2017. Vol. 21, No. 1, P. 91-107.

16. Murray, A.T. "Public transportation access", *Transp. Res. Part D Transp. Environ*. 1998. Vol. 3. No. 5. P. 319-328.

17. Besser, L.M., Dannenberg, A.L. "Walking to public transit: Steps to help meet physical activity recommendations". *Am. J. Prev. Med*. 2005. Vol. 29, No. 4. P. 273-280,

18. Guzman, L.A., Oviedo, D., Rivera, C. "Assessing equity in transport accessibility to work and study: The Bogotá region". *J. Transp. Geogr*. 2017. Vol. 58. P. 236-246.

19. Прохоров, В.Т., Мальцев, И.М. *Оптимизационные методы для решения технологических задач: Монография*. Шахты: ЮРГУЭС, 2004. – 441 с.

20. Бакуменко, Л.П. Методика априорного ранжирования факторов качества жизни населения. *Статистика и экономика*. No. 1. 2011. P. 142-149.

21. Бриджмен, П. *Анализ размерностей* (2-е издание). Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика. 2001. 148 р.

22. Иванов, М.Г. *Размерность и подобие*. Долгопрудный. 2013. 68 р.

23. Zhamanbayev, B., Raimbayev, A., Almakhanova, E., Raimbayev, S., Waldemar W. Two-stage substantiation of placement of public transport stops. *Transport problems*. 2021. Vol. 16. No. 1. P. 87-97.

Б.У.Жаманбаев*, Г.К.Саменов, У.Ш.Кокаев, Ж.Р.Алипбаев, А.А.Каражанов

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

Қоғамдық көлік аялдамаларын орналастыруды оңтайландыру

Андатпа. Мақалада Қазақстан Республикасында әлеуметтік интеграцияны арттырудың маңызды құралы ретінде қоғамдық көлік қолжетімділігін зерттеу қарастырылады. Қоғамдық көлік аялдамаларына дейін жаяу жүргіншілер қозғалысы мен жолаушылар сапарларына әсер ететін факторларды талдауға ерекше назар аударылады. Аялдамалардың орналасуын оңтайландыруға және көлік инфрақұрылымын жақсартуға бағытталған жаяу жүргіншілер мен қоғамдық көліктің өзара әрекеттестігінің екі сатылы теориялық-эксперименттік моделі ұсынылады.

Факторларды алдын ала ранжирлеу әдісін қолдану олардың ішінен ең маңызды факторларды, мысалы, қашықтық, бару уақыты, жаяу жүргіншінің жылдамдығы және климаттық жағдайларды анықтауға мүмкіндік береді. Ұқсастық және өлшем теорияларын қолдану жүйелердің әртүрлі жағдайларда мінез-құлқын дәлірек болжауға көмектесіп, көлік желілерін тиімдірек жоспарлауға ықпал етеді.

Өлшем теориясын қолдана отырып, қоғамдық көлік аялдамаларының орналасуын негіздеудің жаңа математикалық моделі ұсынылады. Эксперименттің нәтижесі – қоғамдық көлікпен сапарлар үшін аялдамалардың орналасқан орындарын анықтау.

Түйін сөздер: қалалық қоғамдық жолаушылар көлігі, жаяу жүргіншілер қолжетімділігі, сау-

алнама, қоғамдық көлік аялдамасы, өлшем теориясы, факторларды алдын ала ранжирлеу.

B.U.Zhamanbayev, G.K. Samenov, U.Sh.Kokayev, Zh.R.Alipbayev, A.A.Karazhanov
Eurasian National University named after L.N.Gumilyov, Republic of Kazakhstan, Astana

Optimization of public transport stop placement

Abstract. The article examines the study of public transport accessibility as an important tool for enhancing social integration in the Republic of Kazakhstan. Particular attention is paid to analyzing factors influencing pedestrian movement to public transport stops and passenger trips. A two-stage theoretical and experimental model of pedestrian and public transport interaction is presented, aimed at optimizing stop locations and improving transport infrastructure.

The use of the a priori ranking method of factors allows identifying the most significant ones, such as distance, approach time, pedestrian speed, and climatic conditions. The application of similarity and dimensional analysis theory helps more accurately predict system behavior under various conditions, contributing to more effective transport network planning.

Using dimensional analysis theory, a new mathematical model for justifying the locations of public transport stops is proposed. The experiment's outcome is the determination of optimal stop locations for public transport trips.

Keywords: urban public passenger transport, pedestrian accessibility, survey, public transport stop, dimensional analysis theory, a priori factor ranking.

References

1. Mozharov, V. *Transport in Kazakhstan: current situation, problems and development prospects*. Almaty: Kazakhstan Institute strategic research under the President of the Republic of Kazakhstan. 2011. – 216 p.
2. *Promoting Clean Urban Public Transportation and Green Investment in Kazakhstan*. Green Finance and Investment. OECD Publishing. Paris. 2017. 155 p.
3. Bureau of National statistics. Agency for Strategic planning and reforms of the Republic of Kazakhstan. <http://stat.gov.kz/>
4. SNiP RK 3.01-01-2008. *Urban planning. Layout and development of urban and rural communities*. http://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30503178#pos=1;-240
5. Gudkov, V.A. i dr. *Passazhirskie avtomobil'ny'e perevozki*. Moskva: Goryachaya liniya. Telekom. 2006. 448 p.
6. Spirin, I.V. *Organizaciya i upravlenie passazhirskimi avtomobil'ny'mi perevozkami: uchebnik dlya stud. uchrezhdenij sred. prof. obrazovaniya*. Moskva: Izdatel'stvo centr «Akademiya». 2010. 400 p.
7. Gorev, A.E., Oleshhenko, E.M. *Organizaciya avtomobil'ny'x perevozok i bezopasnost' dvizheniya*. Moskva: Izdatel'skij centr «Akademiya». 2006. 256 p.
8. Dewan, K.K., Ahmad, I. Carpooling: A Step To Reduce Congestion. *Engineering Letters*. Vol. 14. 2007.
9. Gurmu, Z. K. *A Dynamic Prediction of Travel Time for Transit Vehicles in Brazil Using GPS Data*. Master thesis. University of Twente. The Netherlands. 2010. 67 p.
10. Lee, W. C., Si, W., Chen, L. J., Chen, M. C. HTTP: A New Framework for Bus Travel Time Prediction

Based on Historical Trajectories. In: *Proceedings of the 20th International Conference on Advances in Geographic Information Systems*. SIGSPATIAL, 2012. P. 279-288

11. Ivan, I., Horak, J., Zajickova, L., Burian, J., Fojtík, D. Factors Influencing Walking Distance to the Preferred Public Transport Stop in selected urban centres of Czechia. *GeoScape*. 2019. Vol. 32(1). P.16-30.

12. Adams, E.J., Esliger, D.W. Taylor IM, Sherar L.B. Individual, employment and psychosocial factors influencing walking to work: Implications for intervention design. *PLoS ONE*. Vol. 12(2). 2017.

13. Morris, J.M., Dumble, P., Wigan, M.R. "Accessibility indicators for transport planning". *Transp. Res. Part A Gen.* 1979. Vol. 13, No. 2, p. 91-109.

14. Sun, G., Webster, C., Chiaradia, A. "Objective assessment of station approach routes: Development and reliability of an audit for walking environments around metro stations in China". *J. Transp. Health*. 2017. Vol. 4. P. 191-207.

15. Jang, S. "Assessing the spatial equity of Seoul's public transportation using the Gini coefficient based on its accessibility", *International Journal of Urban Sciences*. 2017. Vol. 21, No. 1, P. 91-107.

16. Murray, A.T. "Public transportation access", *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 1998. Vol. 3. No. 5. P. 319-328.

17. Besser, L.M., Dannenberg, A.L. "Walking to public transit: Steps to help meet physical activity recommendations". *Am. J. Prev. Med.* 2005. Vol. 29, No. 4. P. 273-280,

18. Guzman, L.A., Oviedo, D., Rivera, C. "Assessing equity in transport accessibility to work and study: The Bogotá region". *J. Transp. Geogr.* 2017. Vol. 58. P. 236-246.

19. Proxorov, V.T., Mal'cev, I.M. Optimizacionny`e metody` dlya resheniya texnologicheskix zadach: Monografiya. Shaxty`: YuRGUE`S. 2004. – 441 c.

20. Bakumenko, L.P. *Metodika apriornogo ranzhirovaniya faktorov kachestva zhizni naseleniya*. Statistika i e`konomika. No. 1. 2011. P. 142-149.

21. Bridzhmen, P. Analiz razmernostej (2-e izdanie). Izhevsk: *Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika*. 2001. 148 p.

22. Ivanov, M.G. *Razmernost` i podobie*. Dolgoprudny`j. 2013. 68 p.

23. Zhamanbayev, B., Raimbayev, A., Almakhanova, E., Raimbayev, S., Waldemar W. Two-stage substantiation of placement of public transport stops. *Transport problems*. 2021. Vol. 16. No. 1. P. 87-97.

Сведения об авторе (авторах):

Жаманбаев Б.У. – PhD, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул.Сатпаева, 2, Астана, Казахстан, + 7 7 776 673 12 78, zhaman78@gmail.com.

Саменов Г.К. – кандидат технических наук, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул.Сатпаева, 2, Астана, Казахстан, + 7 777 399 81 71, sgk_08@mail.ru.

Кокаев У.Ш. – кандидат технических наук, доцент, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул.Сатпаева, 2, 10000, Астана, Казахстан, +7 707 550 6178, kush_kush78@mail.ru.

Алимбаев Ж.Р. – кандидат технических наук, доцент, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул.Сатпаева, 2, 10000, Астана, Казахстан, +7 771 235 14 16, alipbaev.1977@mail.ru.

Каражанов А.А. – кандидат технических наук, доцент, Евразийский национальный

университет имени Л.Н.Гумилева, ул.Сәтпаева, 2, 10000, Астана, Қазақстан, + 7 705 797 66 82, akarazhanov@mail.ru.

Жаманбаев Б.У. – PhD, аға оқытушы, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көшесі, 2, Астана, 10000, Қазақстан, + 7 7 776 673 12 78, zhaman78@gmail.com.

Кокаев У.Ш. – техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көшесі, 2, 10000, Астана, Қазақстан, +7 707 550 6178, kush_kush78@mail.ru.

Алипбаев Ж.Р. – техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көшесі, 2, 10000, Астана, Қазақстан, +7 771 235 14 16, alipbaev.1977@mail.ru.

Қаражанов Ә.А. – техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көшесі, 2, 10000, Астана, Қазақстан, + 7 705 797 66 82, akarazhanov@mail.ru.

Сәменов Е.Қ. – хат-хабар авторы, техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көшесі, 2, Астана, Қазақстан, + 7 777 399 81 71, sgk_08@mail.ru.

Zhamanbayev B.U. – PhD, Senior Lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev str. 2, Astana, Kazakhstan, + 7 7 776 673 12 78, zhaman78@gmail.com.

Samenov G.K. – candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev str. 2, Astana, Kazakhstan, + 7 777 399 81 71, sgk_08@mail.ru.

Kokayev U.Sh. – Candidate of Technical Sciences, associate professor, Eurasian National University named after L.N. Gomilev, Satpayev str. 2, 10000, Astana, Kazakhstan, +7 707 550 6178, kush_kush78@mail.ru.

Alipbayev Zh.R. – Candidate of Technical Sciences, associate professor, Eurasian National University named after L.N. Gomilev, Satpayev str. 2, 10000, Astana, Kazakhstan, +7 771 235 14 16, alipbaev.1977@mail.ru.

Karazhanov A.A. – Candidate of Technical Sciences, associate professor, Eurasian National University named after L.N. Gomilev, Satpayev str. 2, 10000, Astana, Kazakhstan, + 7 705 797 66 82, akarazhanov@mail.ru.



© 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 67.21.23

Обзорная статья

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-150-1-226-248>

Современные технологии мониторинга подтопляемых территорий и их влияние на инфраструктуру

А.Т. Мухамеджанова¹ , Д. Кажимканулы*¹ , Е.Б. Утепов¹ , А. Анискин² 

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

²Университет Север, Вараждин, Хорватия

(E-mail: dias27049795@gmail.com)

Аннотация. Данный обзор посвящен анализу современных технологий мониторинга подтопляемых территорий и их влиянию на инфраструктуру. Специфика рассмотренных статей позволила определить 5 основных категорий, формирующих структуру обзора, в том числе управление водными ресурсами и инфраструктурные решения; мониторинг и прогнозирование на основе данных; Интернет вещей (IoT); воздушные и мобильные технологии; аналитические и вычислительные методы. При отборе статей для обзора преимуществом обладали те, которые предлагают современные решения, включая геоинформационные системы (ГИС), дистанционное зондирование (ДЗ), IoT, беспилотные летательные аппараты (БПЛА), машинное обучение (МО) и искусственные интеллекты (ИИ). Проведен анализ этих решений и установлены их недостатки. Обзор выявил, что комплексные решения обеспечивают более эффективный и точный мониторинг, прогнозирование и обнаруживание подтопленных территорий в режиме реального времени. Обзор выделяет важность интеграции различных современных технологий для создания более эффективных и точных систем мониторинга, прогнозирования зон риска и обнаруживания подтопляемых территорий. Особое внимание уделено применению таких решений, как БПЛА и ИИ для оценки площади подтоплений, IoT и ИИ для мониторинга уровня воды в реальном времени, а также МО и ИИ для прогнозирования рисков подтоплений. Анализ публикаций за последние 10 лет демонстрирует значительное увеличение интереса к этим решениям, что связано с возрастающей актуальностью и сложностью решения проблемы подтоплений в условиях изменения климата, урбанизации и экстремальных погодных явлений. Прогнозируется, что в будущем такие подходы будут играть ключевую роль в разработке стратегий управления рисками подтоплений, обеспечивая защиту населения и инфраструктуры.

Ключевые слова: подтопления, мониторинг, современные технологии, оценка риск, инфраструктура.

Поступила 26.12.2024. Доработана 03.03.2025. Одобрена 09.03.2025. Доступна онлайн 31.03.2025

*¹автор для корреспонденции

Введение

За последние несколько лет во многих городах мира происходят сильные подтопления по причине мгновенного изменения климата, изменения почвенно-растительного покрова, вызванного быстрой урбанизацией, и увеличением количества осадков. Городские территории сталкиваются с серьезными бедствиями из-за подтоплений [1-3]. Подтопление может поставить под угрозу жизнь и здоровье людей, а также их имущество [2]. Кроме того, подтопления, связанные с нарушением водного режима и вымыванием почвы, которые сильно влияют на сельское хозяйство, поскольку население зависит от земледелия и скотоводства [4-6]. Последствия подтопления распространяются не только на людей и их имущество, но и на формы рельефа, такие, как низменности, равнины и аллювиальные равнины с ограниченным потоком и высоким скоплением воды [6]. Поскольку подтопления часто наносят ущерб инфраструктуре, многие страны сталкиваются с различными социально-экономическими проблемами [6]. В связи с насущностью проблемы подтопления для многих стран поиск ее потенциальных решений становится все более актуальным [5].

Причины подтопления городских территорий были исследованы многими зарубежными учеными. Они выявили ряд основных причин. Например, [1] считают, что причиной подтопления городских территорий стало изменение климата в результате глобального потепления [3-5-7], снижение уровня инфильтрации осадков в результате быстрой урбанизации [3-8-10] и увеличения количества сильных (ливневых) и непрерывных дождей в течение короткого периода времени. Кроме того, они отметили недостаточную эффективность и неадекватность традиционных дренажных систем [4-5-8-11], а также неправильное планирование города.

Таким образом, в [2] считают, что причинами могут быть социальные и природные факторы, а также человеческий фактор. Например, глобальное потепление в результате экстремальных погодных явлений [3-4], структура городского рельефа и его проницаемость, неэффективное планирование и строительство, несвоевременное реагирование на стихийные бедствия, качество инфраструктуры, ограниченные возможности метеорологической службы и экстренной поддержки для предотвращения и смягчения последствий стихийных бедствий. [3] выделил два ключевых фактора: метеорологические и геологические. Согласно [11], именно эти факторы приводят к уменьшению поверхностной инфильтрации и увеличению стока. В [4] приходят к выводу, что основными причинами подтопления являются вмешательство человека и географическая уязвимость некоторых сельскохозяйственных районов. В [5] выделяют несколько ключевых факторов, таких, как обильные осадки, резкие колебания уровня грунтовых вод и плохая структура почвы. В [6] считают, что подтопление вызвано накоплением избыточной воды, географическими характеристиками, изменениями в характере атмосферной циркуляции, которые влияют на количество осадков, и различные экологические факторы. По мнению [7], подтопление – это многогранная проблема, вызванная природными и антропогенными факторами [11]. В [8] считают, что ограничения в гидравлическом моделировании и отсутствие комплексного планирования способствуют возникновению проблемы подтопления. [9] объясняют подтопление городских территорий увеличением количества непроницаемых поверхностей и геологическими условиями. В [10] считают, что подтопление вызвано истощением водоносного горизонта, отсутствием нормативного

контроля и несогласованностью методов управления. В [11] считают, что глинистая почва, неправильное управление оросительной водой и вогнутый рельеф местности являются основными причинами подтопления.

Благодаря детальному анализу были выделены 10 основных причин подтопления городских территорий (Рисунок 1), которые наиболее часто упоминались в научных публикациях [1-11] и имеют значительное воздействие на возникновение подтоплений.

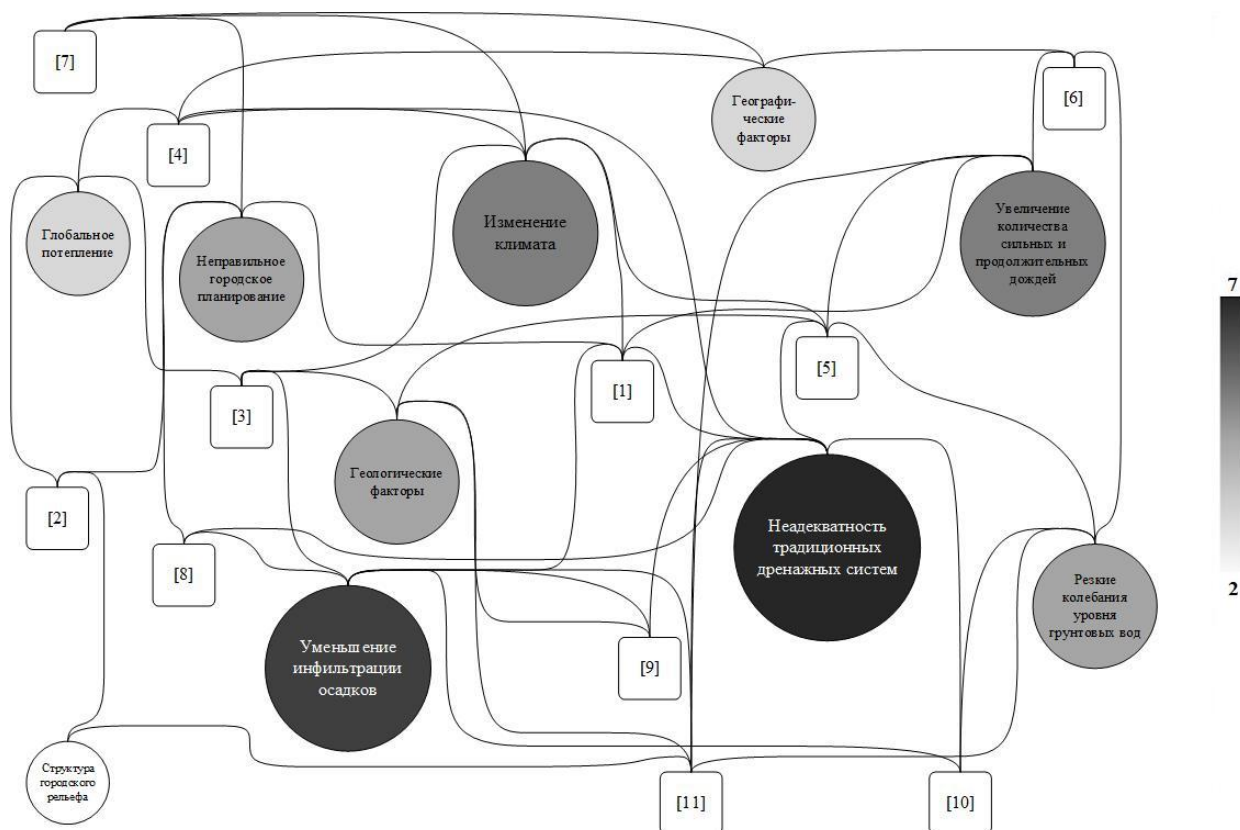


Рисунок 1. Основные причины подтопления городских территорий [1-11].

Сетевой график на рисунке 1 представляет взаимосвязи причин подтоплений и исследований, в которых они упоминаются. Размеры окружностей указывают на частоту упоминаний причин подтопления в рассмотренных исследованиях. Значения в малых квадратах ([1]-[11]) соответствуют ссылкам на эти исследования. Всего выявлено 10 основных причин подтопления, в том числе природные и техногенные. Так, наиболее упоминаемой (8 раз) причиной, отраженной в самом большом круге, явилась ненадежность традиционных дренажных систем, что носит техногенный характер и может управляться людьми. Это обращает внимание на необходимость совершенствования существующих способов предотвращения подтоплений. В этой связи методы и технологии мониторинга уровня подземных вод приобретают особую значимость и нуждаются в тщательном анализе. В связи с чем цель данного обзора заключается в анализе существующих методов и технологий мониторинга уровня

подземных вод и их воздействие на инфраструктуру, обнаружении их недостатков и поиске возможностей для дальнейшего совершенствования.

Методология

Сбор материалов для обзора производился с достоверных источников, таких, как Scopus, SCISPACE, ResearchRabbit, ResearchGate, Cyberleninka. Для широкого охвата подбирались материалы, в которых исследования проводились в различных городах по всему миру. Это позволило учитывать многообразие географических, климатических, социальных и экономических условий. Ключевыми словами для поиска являлись: «подтопления», «причина подтопления», «мониторинг воды», «анализ методов», «традиционные методы», «современные методы», «прогнозирование», «решение проблемы», «IoT», «ГИС», «БПЛА», «МО» и «ИИ». Для сужения поиска использовались различные фильтры, например, по годам публикации и по типу документов. Большая часть информации была получена на английском языке. Приоритетом были публикации за последние 10 лет в области мониторинга подземных вод и технологий, связанных с инфраструктурой, чтобы отражать современные подходы к решению проблемы подтопления. Данные критерии включают в себя публикации, которые были опубликованы в период с 2015 по 2024 года и другие работы, относящиеся к этому периоду. В общем для включения в обзор было рассмотрено 200 научных публикаций, которые были разделены на основе тематического анализа и целей исследования каждой статьи на 5 групп (рисунок 1).

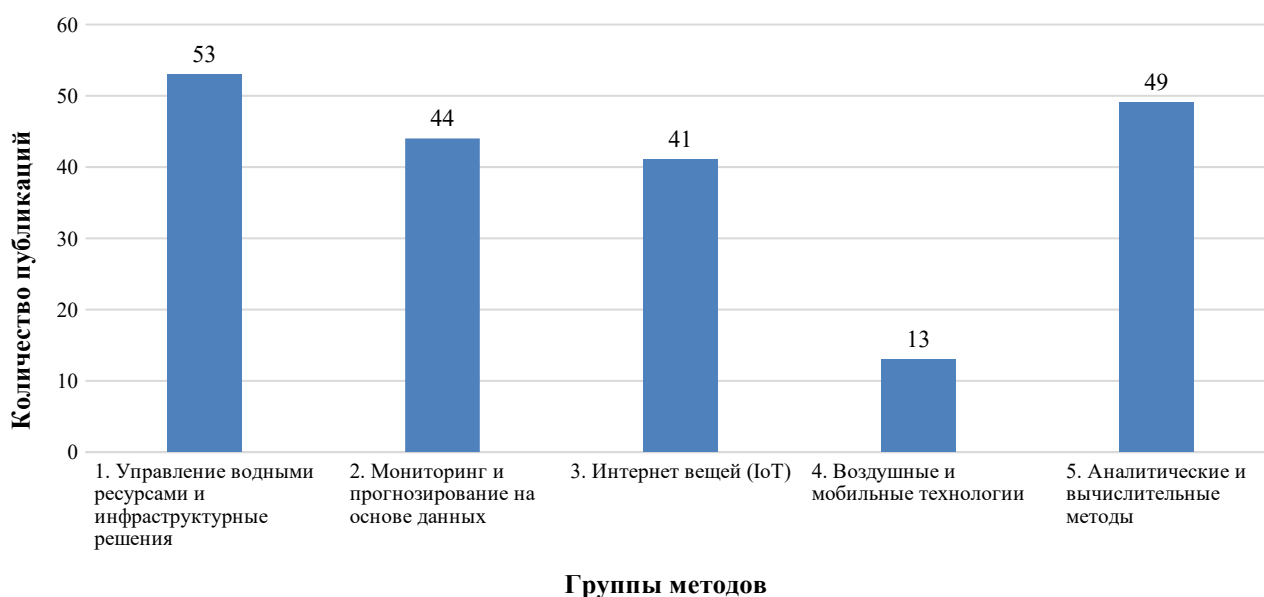


Рисунок 2. Группы методов решения проблем подтопления.

Согласно рисунку 2, основную долю (26%) занимают публикации, связанные с управлением водными ресурсами и инфраструктурными решениями. На следующем месте (25%) расположены публикации, посвященные аналитическим и вычислительным методам на базе машинного обучения (МО) и ИИ. Мониторинг и прогнозирование на

основе данных (22%) и IoT и датчики (20%) показывают схожие доли с разницей в 2%. Малая доля (7%) приходится на воздушные и мобильные технологии.

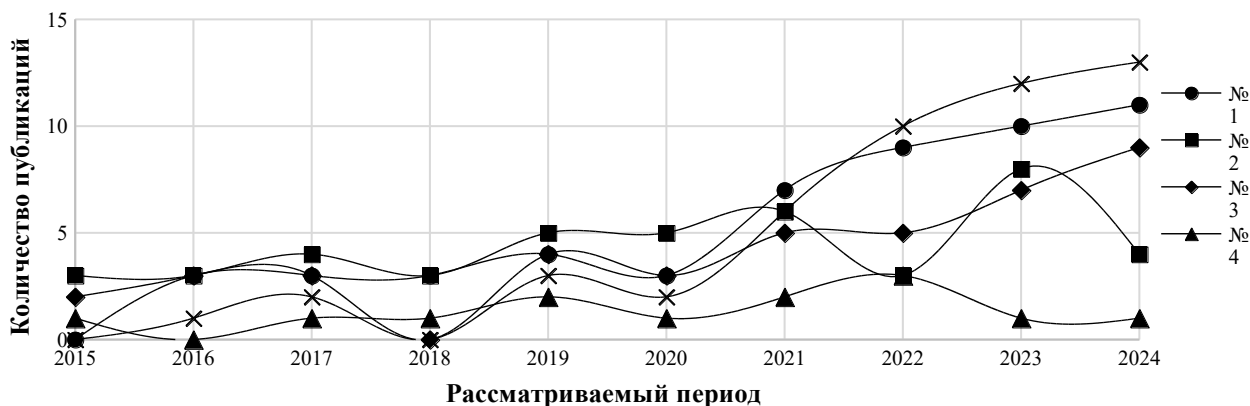


Рисунок 3. Количество публикаций за последние 10 лет по группам методов.

Из рисунка 3 видно, что количество научных публикаций в каждом году устойчиво увеличивалось, особенно в 2022-2024 годах. Все группы методов с 2015 по 2021 годы были в основном стабильны. Это демонстрирует, что проблема подтопления становится все актуальнее год за годом.

Рисунок 4 ниже показывает прогноз изменения количества научных публикаций по различным группам методов решения проблем подтопления городских территорий на период с 2025 по 2034 годы. Прогноз статистических значений выполнен с помощью инструмента «Лист прогноза» в Microsoft Excel, использующего метод экспоненциального сглаживания (ETS) с учетом доверительного интервала 95%.

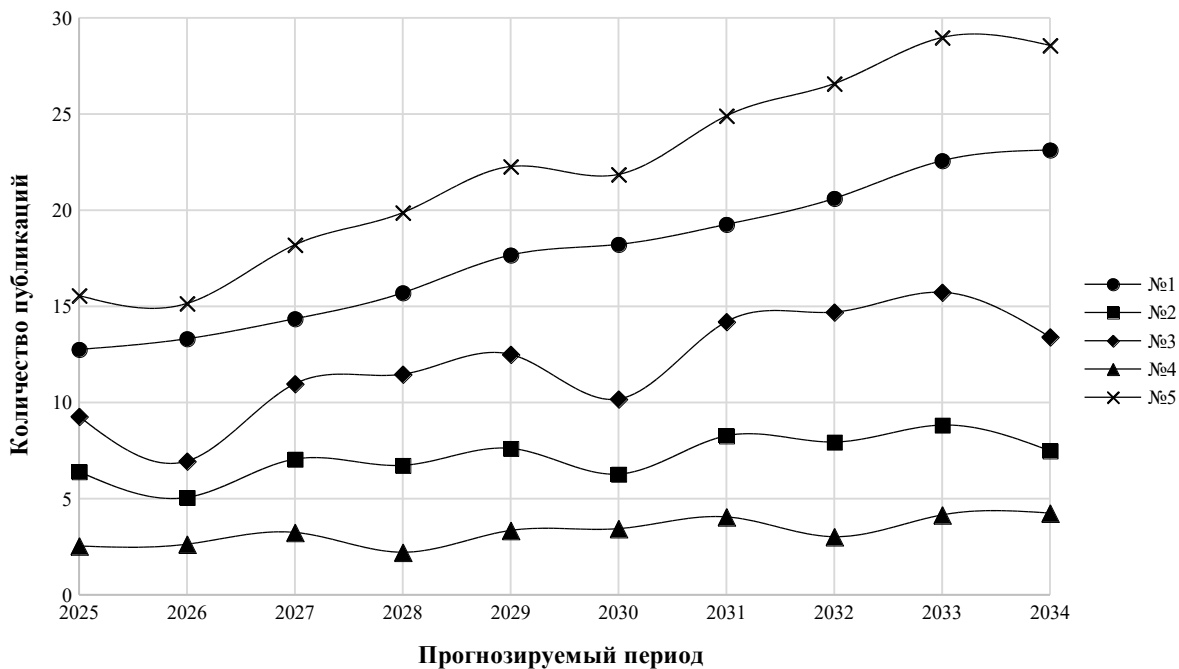


Рисунок 4. Прогноз количества публикаций на 10 лет по группам методов.

Прогноз демонстрирует, что количество научных публикаций продолжит расти по всем группам методов. В среднем за 10 лет наблюдается более чем двукратный рост общего количества публикаций. Причем наибольший ежегодный средний прирост наблюдается у группы №5, а ежегодный средний прирост у групп №1-4 хуже в 1,5, 12, 3 и 8 раз, соответственно.

Результаты и Обсуждение

Управление водными ресурсами и инфраструктурные решения

Управление водными ресурсами и инфраструктурные решения – это подход, который направлен на снижение риска подтоплений через природные и инженерные методы. Оно может включать применение дренажных систем, систем инфильтрации, удержания воды и концепцию «Sponge City». Эти решения помогают улучшению инфраструктуры и увеличению устойчивости экосистем.

Авторы [1] предлагают концепцию «Sponge City» как комплексный метод решения проблем подтопления городов, который был представлен в Китае в 2014 году. Этот подход направлен на использование природных процессов, улучшение городского дизайна и изучение конкретных примеров для создания устойчивой городской среды, способной эффективно справляться с обильными осадками. Он также учитывает такие проблемы, как высокая стоимость, необходимость технического обслуживания, ограниченность пространства, проблемы общественного признания, потенциальное неравенство и изменчивость климата.

Согласно [2], методы, используемые в зарубежных странах для решения проблемы подтопления городов, включают в себя сочетание информированности, регулирования, планирования, технологий, управления рисками, сотрудничества и вовлечения общественности. Есть и недостатки, такие, как высокая стоимость, сложность координации, технологическая зависимость, нормативные препятствия, проблемы информирования общественности, воздействие на окружающую среду и потенциальная краткосрочная направленность.

Авторы [3] считают, что сочетание метода инфильтрации и метода удержания будет наиболее эффективной стратегией для решения проблемы подтопления городских территорий. Метод инфильтрации предназначен для пополнения подземных стоков и грунтовых вод, а метод удержания задерживает дождевую воду, чтобы уменьшить ее отток. Авторы признают, что есть трудности с внедрением этих методов, такие, как необходимость значительного финансирования, неизвестность затрат на обслуживание, отсутствие данных об эффективности, а также отсутствие взаимопонимания среди стейкхолдеров и тесного сотрудничества.

Авторы [4] использовали сочетание контролируемого дренажа, имитационного моделирования, оптимизации дренажных сооружений, оценки комбинированных методов дренажа и инновационных систем, таких, как автономные каналы-пруды, для решения проблемы заболачивания в сельском хозяйстве. В целом к недостаткам можно отнести сложность управления, эксплуатационные расходы, непостоянство эффективности и экологические проблемы.

В статье [8] авторы использовали сочетание концепции двойного ремонта городских территорий, гидравлического моделирования и комплексной схемы планирования дренажа для предотвращения проблемы подтопления. Однако эта концепция может столкнуться с проблемами, связанными со сложностью, потребностью в ресурсах, зависимостью от данных.

Таким образом, традиционные методы управления водными ресурсами и инфраструктурные решения, такие, как концепция *Sponge City* и дренажные системы, направлены на увеличение естественной инфильтрации и удержание воды. Однако их реализация часто сталкивается с высокими финансовыми затратами, необходимостью технического обслуживания и сложностью интеграции в уже существующую городскую инфраструктуру.

Мониторинг и прогнозирование на основе данных

Для мониторинга и прогнозирования на основе данных, для решения проблем подтопления городских территорий все чаще используют современные технологии, такие, как геоинформационные системы (ГИС), дистанционное зондирование (ДЗ) и глобальные навигационные спутниковые системы. Эти технологии позволяют результативно передавать, собирать, анализировать и визуализировать данные, чтобы принять своевременные решения.

Авторы [10] предлагают решать проблему подтопления с помощью комплексного подхода к управлению, включающего создание единой базы данных, картирование в ГИС (метод ДЗ для анализа и визуализации), применение геотехнологий и междисциплинарной методологии, направленной на улучшение городского дренажа и управления водными ресурсами. К недостаткам предлагаемого подхода можно отнести ограниченность и зависимость от существующих данных, ресурсоемкость, интеграции базы данных и сложность городских систем.

Авторы [12] объединили качественные и количественные методы, включая сбор первичных данных, инструментальную съемку, ДЗ, методы ГИС и экономические оценки, чтобы всесторонне рассмотреть проблему подтопления. Эти методы также имеют ограничения, которые могут повлиять на точность и применимость полученных результатов.

Методы, которые были использованы в работе [13], также представляют собой комплексный подход. Он включает в себя ДЗ, вспомогательные данные, цифровые модели рельефа (ЦМР) высокого разрешения с улучшенной возможностью моделирования испарения для более точного мониторинга и управления процессом подтопления. Данный подход также может быть связан с такими проблемами, как сложность интеграции данных и их стоимость, зависимость от технологий, вероятность перегрузки данных и вариативность точности применяемых датчиков и их сложность.

Авторы статьи [14] использовали сочетание методов технологий ДЗ и статистического анализа данных для решения проблемы подтопления, вызванного наводнением. Методы направлены на улучшение мониторинга и управления, тем самым уменьшая

их воздействие на окружающую среду. Потенциальные недостатки, связанные с этими методами включают: низкая квалификация персонала, ограничения по разрешению (спутниковые снимки могут не фиксировать изменения уровня воды), погодные условия (облачность) могут препятствовать спутниковым наблюдениям.

В статье [15] авторы использовали комплексный подход, сочетающий методы ДЗ, ГИС и моделирование грунтовых вод для решения проблемы подтопления. Они использовали метод нормализованного индекса разности воды (NDWI), чтобы выявить зоны поверхностного подтопления территории на основе данных оптического спутника ДЗ, а также оценить условия подтопления с помощью моделирования потока подземных вод. В работе использовали полученные данные и обработали снимки Sentinel 2 MSS для выделения пикселей воды. Также использовали изображения SAR со спутника Sentinel 1A для устранения ограничений, связанных с оптическими снимками. Комплексный метод имеет недостатки: низкое качество данных и снимков, ограничения моделирования подземных вод, сложность интеграции.

Современные технологии мониторинга и прогнозирования на основе данных, такие, как ГИС, ЦМР и ДЗ, позволяют эффективно собирать, анализировать и визуализировать данные о подтопляемых территориях, предоставляя детализированные карты и модели. Недостатками таких решений являются их зависимость от объема и качества исходных данных, высокая стоимость, сложность интеграции, а также зависимость от технического оснащения.

Интернет вещей

IoT – это сеть устройств, которые через интернет обмениваются информацией и данными.

Подход авторов [16] включает в себя два главных компонента: система мониторинга вод и автоматизированная система осушения. Система мониторинга вод применяет технологии IoT и интегрированные системы для мониторинга уровня воды в режиме реального времени, а также во время превышения уровня воды система отправляет SMS-сообщения на мобильные устройства пользователей, чтобы предупредить их об этом. Автоматизированная система осушения при достижении водой определенного уровня автоматически активируется для ее удаления. Это достигается за счет использования датчиков уровня, контроллеров и двигателей, при этом не прибегая к помощи человека. Есть несколько потенциальных недостатков, такие, как факторы окружающей среды, требования к обслуживанию, высокая стоимость и ограниченность бюджета.

Авторы статьи [17] объединили 2 метода: IoT и ИИ. Они использовали ультразвуковые датчики, датчики влажности, давления, расхода воды и датчик температуры. Для обнаружения людей использовали модель You Only Look Once (YOLO). YOLO – это известная модель для обнаружения людей и объектов на изображениях в реальном времени. Также для обнаружения подтоплений использовали TensorFlow. Данные от датчиков обрабатывались и анализировались в режиме реального времени, отображались на онлайн- платформе и были доступны всем. Для отправки мгновенных предупреждений

гражданским лицам и властям о надвигающихся подтоплениях и их локации они использовали приложение Telegram. Есть и недостатки, такие, как постоянное и качественное подключение к интернету, низкое качество видео, дорогостоящие аппараты, датчики и технологии, быстрые изменения погодных условий.

Авторы [18] предложили новый подход к решению проблемы подтопления. Они использовали технологию Long Range (LoRa) для создания глобальной информационной сети, чтобы передавать данные на большие расстояния. Для сбора данных использовали датчики с низким потреблением. Для обработки полученных данных использовали микроконтроллеры серии STM32. Эти микроконтроллеры облегчили управление потоком информации от датчиков к центральным процессорам, обеспечивая эффективную обработку данных. Все данные передавались на терминалы обработки информации. Авторы использовали технологию цифрового картирования для создания интуитивно понятных карт представлений об условиях подтопления. Эти карты помогали точно и доступно показывать уровень воды в различных точках. Объединяя данные об уровне воды из разных точек, система стремится повысить специфичность и точность мер по предотвращению и борьбе с подтоплением. Среди потенциальных недостатков можно отметить то, что датчики и микроконтроллеры требуют регулярного технического обслуживания и калибровки, могут быть ресурсоемкими, и существует возможность перегрузки данных.

В [19] авторы предложили систему мониторинга на основе IoT, чтобы прогнозировать уровень воды в режиме реального времени. Авторы использовали датчики, чтобы измерять уровень воды. Для повышения надежности и точности измерений дополнительно использовались ультразвуковые датчики. В систему интегрирован модуль GPS, чтобы точно определять подтопляемые территория. Через специальный веб-сайт система передает данные в режиме реального времени. Для хранения всех данных автоматически создается облачный сервер. Среди некоторых недостатков системы: необходимость калибровки данных, обслуживания датчиков, окружающие факторы, конфиденциальность и безопасность данных.

Авторы [20] предлагают решать проблему подтоплений, разработав систему на базе IoT, которая сочетает в себе постоянный мониторинг уровня воды в реальном времени, точно измеряющие передовые датчики, беспроводную связь для быстрой и эффективной передачи данных, собранных датчиками, анализ данных для оценки риска и эффективный механизм оповещения, чтобы уведомлять жителей и власти, направленные на улучшение прогнозирования подтоплений и мер по их ликвидации. Система также сталкивается с проблемами, связанными со стоимостью внедрения, техническим обслуживанием, конфиденциальностью и безопасностью данных, экологическими факторами, ограничениями по охвату и обучением пользователей.

Резюмируя, методы IoT и датчики обеспечивают мониторинг уровня воды в реальном времени, что повышает скорость реакции на подтопления. Для своевременного обнаружения уровня воды и автоматического реагирования, они объединяют датчики, беспроводную связь и обработку данных. Однако эти системы требуют надежного интернет-соединения и регулярного технического обслуживания, что может стать проблемой в условиях ограниченных ресурсов.

Воздушные и мобильные технологии

Воздушные и мобильные технологии – это современные технологии, направленные на мониторинг и предупреждение подтоплений. Их использование помогает прогнозировать развитие ситуации и быстро собирать данные о подтопленных территориях.

Авторы [21] предложили комплексный метод решения проблемы подтопления. Он сочетает в себе передовые технологии связи, возможности беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и мониторинг данных в режиме реального времени для эффективного решения проблем, связанных с подтоплением. Авторы разработали систему Internet-of-Vehicle (IoV) для мониторинга подтоплений и обеспечения предупреждения о бедствии. БПЛА IoV оснащены нейронной сетью для распознавания людей при спасательных операциях. Использовали технологию связи Vehicle-to-Everything (V2X) для передачи сигналов тревоги и технологии LoRa и Dedicated Short-Range Communications (DSRC) для передачи данных между датчиками, платформами данных и транспортными средствами. Система поддерживается мобильной сетью. Недостатками системы являются: дороговизна, вопросы конфиденциальности и безопасности данных, ограниченность в охвате мобильной сети.

Авторы [22] предложили решение проблемы подтопления уникальным образом, объединив технологию БПЛА с моделями глубокого обучения, что привело к созданию надежного метода обнаружения и анализа условий подтопления с высокой точностью и эффективностью. Система БПЛА с широким обзором могла выполнять аэрофотосъемку пострадавших районов для оценки условий подтопления. Модель глубокого обучения использовалась для автоматизации обнаружения подтопленных зданий на изображениях, полученных с БПЛА. Результаты эксперимента показали, что метод достиг точности 88% при обнаружении подтопленных зданий. Такой высокий результат способствует экстренному реагированию. Этот метод позволил оценить площадь подтопления зданий на основе изображений БПЛА. Предлагаемый авторами метод также сталкивается с проблемами, связанными с зависимостью от погоды, качеством данных, вычислительными мощностями, сложностью обучения модели и возможностями обработки в режиме реального времени.

Авторы [23] решали проблему подтопления, применив усложненный подход. Они использовали технологию БПЛА для получения изображений пострадавших от подтопления районов в режиме реального времени. Они реализовали подход, основанный на ИИ, который использует глубокие нейронные сети (DNN) для семантической сегментации захваченных изображений. Эта техника автоматически помогает определить районы пострадавших от подтопления. Алгоритмы были специально оптимизированы для граничных вычислительных платформ на базе GPU. Это означает, что БПЛА могут обрабатывать изображения локально, снижая потребность в облачном анализе и обеспечивая принятие решений в режиме реального времени. Авторы провели эксперименты с использованием различных аппаратных платформ, включая высокопроизводительные вычислительные системы и различные модели семейства NVIDIA Jetson. Эти эксперименты продемонстрировали возможность выполнения продвинутой обработки изображений в реальном времени с помощью решений на базе

DNN. Этот метод также сталкивается с проблемами, связанными с надежностью БПЛА, ограничениями обработки, качеством данных, ограничениями реального времени, зависимостью от сети и воздействием на окружающую среду.

Авторы [24] для решения проблемы подтопления предложили БПЛА, оборудованные разными датчиками и технологиями. Оснащенный с передовыми датчиками БПЛА мог осуществлять аэрофотосъемку и GPS-навигацию для анализа территорий, подверженных подтоплению. Для создания топографических карт районов использовалось лазерное сканирование. Это помогло обеспечить точность обнаружения изменений в ландшафте. БПЛА были настроены на следование по определенным маршрутам и мониторинг в режиме реального времени. Авторы отмечают необходимость интеграции технологии БПЛА с градостроительными нормами. Однако для эффективного применения данной технологии необходимо тщательно оценить их недостатки, которые могут включать эксплуатационные ограничения, проблемы интерпретации данных, проблемы регулирования, стоимость и потенциальное воздействие на окружающую среду.

В [25] применили многогранный подход к решению проблемы. Была предложена система, объединяющая беспроводную сенсорную сеть (WSN) и БПЛА. Такая интеграция позволяет БПЛА обеспечивать надежный сбор данных даже в тех случаях, когда сенсорные узлы оказываются под угрозой во время подтоплений. Система разработана для мониторинга в режиме реального времени и оперативного реагирования. Авторы разработали интеллектуальный алгоритм, сочетающий групповой метод обработки данных (GMDH) и оптимизацию роя частиц (PSO). Модель используется для прогнозирования предстоящих подтоплений, повышая способность системы точно предсказывать события, связанные с подтоплением. Потенциальные проблемы предлагаемого подхода связаны с уязвимостью окружающей среды, сложностью, потребностью в ресурсах и вопросами безопасности данных.

Воздушные и мобильные технологии, используя аэрофотосъемку, лазерное сканирование, GPS-навигацию и БПЛА с современными датчиками для сбора данных в режиме реального времени, могут мониторить, предупреждать и обнаруживать подтопления. Однако эти технологии зависят от погодных условий и имеют высокую стоимость и сложность в обработке данных.

Аналитические и вычислительные методы

Авторы [26] для решения проблемы подтопления использовали новый подход, сочетающий ИИ и численное моделирование. Сочетание нейронной сети с долговременной памятью (LSTM) и цифровой имитационной модели позволило точно и эффективно прогнозировать глубину подтопления городских территорий. Численная модель была использована для расчета и моделирования глубины. Данные, которые были получены с помощью численной модели, послужили обучающими выборками для LSTM. Нейронная сеть была обучена прогнозировать и моделировать процесс подтопления на основе этих данных. Двойная модель может предсказывать глубину подтопления в 324 000 раз быстрее, чем сама численная модель. Недостатки этой системы - может включать постоянный доступ к интернету, дороговизну, зависимость от качества входных данных.

Авторы [27] рассматривают интеграцию ИИ и МО для облегчения создания точных карт территорий, подверженных подтоплениям. Авторы рассказывают об использовании

алгоритмов МО при разработке систем раннего оповещения. Они использовались для прогноза подтопления, анализируя исторические данные и текущие погодные условия. Методы МО также применялись для оценки риска подтоплений. Анализировались различные факторы, такие, как топография, тип почвы и землепользование. Авторы упоминают об инновационном использовании социальных сетей и сенсорных данных для сбора информации о состоянии подтопления в режиме реального времени. Эти технологии также сопряжены со значительными трудностями, включая сложность моделей, риск перебора, проблемы интеграции, этические аспекты и потребность в ресурсах.

Авторы статьи [28] использовали комбинацию технологий ДЗ и алгоритмов машинного обучения для решения проблемы подтопления. В исследовании использовались спутниковые снимки Sentinel-1 (SAR) и Sentinel-2 (оптические) и данные ЦМР. Авторы использовали 2 алгоритма МО: Gradient Boosting (GB) и Random Forest (RF). Алгоритмы были применены для классификации данных. Это позволило эффективно обнаружить подтопленные территории. В общем было проанализировано 16 различных комбинаций данных для оценки эффективности моделей МО. Этот метод сталкивается с проблемами, связанными с качеством данных, сложностью окружающей среды, сложностью данных SAR, необходимостью проверки, потребностью в ресурсах и потенциальной перестройкой.

Решение авторов [28] сочетает в себе современные методы моделирования и практические стратегии сбора данных для эффективного прогнозирования глубины подтопления. Авторы использовали комбинацию темпоральных конволюционных сетей (TCN) и LSTM. Эта гибридная модель предназначалась для эффективной обработки данных, что очень важно для прогнозирования глубины подтопления на основе исторических данных. Авторы разработали специализированную станцию мониторинга, объединяющую автоматический дождемер и водомер. Данная станция, используя различные источники, регулярно собирала информацию о количестве осадков и глубине подтопления из разных мест, предоставляя важные гидрологические данные для модели. Авторы подчеркнули, что модель TCN-LSTM превосходит традиционные модели МО и рекуррентные нейронные сети (RNN) по точности прогноза. Предлагаемое решение может столкнуться с проблемами, связанными с качеством данных, масштабированием, операционными требованиями, сложностью модели и потенциальной переоценкой.

Авторы [30] разработали комплексную информационную систему, направленную на эффективный мониторинг и управление подтоплениями. Авторы создали адаптивную технику ИИ, которая использует устройства IoT для сбора данных о различных факторах окружающей среды, таких, как температура и количество осадков. Исследование включает в себя систему визуализации подтоплений в режиме реального времени, чтобы отслеживать изменение уровня воды. Информация, собранная с различных IoT-устройств, компилируется и хранится в базе данных MySQL. Авторы обучили гибридную модель, используя шесть различных алгоритмов МО, чтобы на основе собранных данных прогнозировать подтопления. Система может иметь недостатки, связанные с безопасностью данных, стоимостью, сложностью системы, воздействием на окружающую среду и управлением данными.

Методы моделирования и прогнозирования на базе машинного обучения и ИИ используются для моделирования и прогнозирования подтоплений, анализируя полученные объемы данных. Это современный подход для точного прогнозирования глубины и создания карт подтоплений. Однако эти методы сопряжены с такими ограничениями, как высокая стоимость, сложность моделей и зависимость от качества данных.

Тренды

Для выявления трендов в работе проанализированы 200 научных публикаций, которые были опубликованы за период с 2015 года по 2024 года. Были рассмотрены материалы, касающиеся применения современных технологий мониторинга подтопляемых территорий. Материалы включали публикации из научных журналов и конференций. Основные критерии отбора включали:

- связность темы с мониторингом и управлением подтопляемыми территориями;
- упоминание современных технологий;
- указание позитивного или негативного контекста применения метода (технологий).

Каждая публикация анализировалась с точки зрения использования следующих категорий методов и технологий: 1) БПЛА; 2) Гидрологические модели; 3) системы раннего предупреждения (СРП); 4) Спутниковый мониторинг; 5) МО; 6) IoT; 7) ИИ; 8) Видеомониторинг; 9) Большие данные (Big Data); 10) Сенсоры; 11) LiDAR; 12) Интерфейсы программирования приложений (API); 13) ДЗ; 14) Облачные вычисления; 15) Социальные медиа; 16) ГИС.

В публикациях анализировалось количество упоминаний каждой из вышеперечисленных методов и технологий с указанием их контекста:

- позитивный контекст: использование технологии для успешного решения задач, связанных с мониторингом или предотвращением подтоплений;
- негативный контекст: критика или указание на ограничения технологий.

Рисунок 5 показывает количество проанализированных статей за каждый год.



Рисунок 5. Количество проанализированных статей за последние 10 лет.

Для обработки данных применялись методы контент-анализа. Каждая публикация была изучена на предмет частоты упоминания метода (технологии), а также их распределения по позитивному и негативному контексту.

На основе анализа была составлена таблица, в которой указано количество упоминаний каждой технологии в позитивном и негативном контексте по годам. Это позволило выявить основные тренды в области мониторинга подтопляемых территорий и оценить эффективность различных подходов.

Рисунок 6 представляет суммарное количество упоминаний в разрезе технологий, а также их распределение по годам, разделенных по позитивному, негативному и совокупному контекстам.

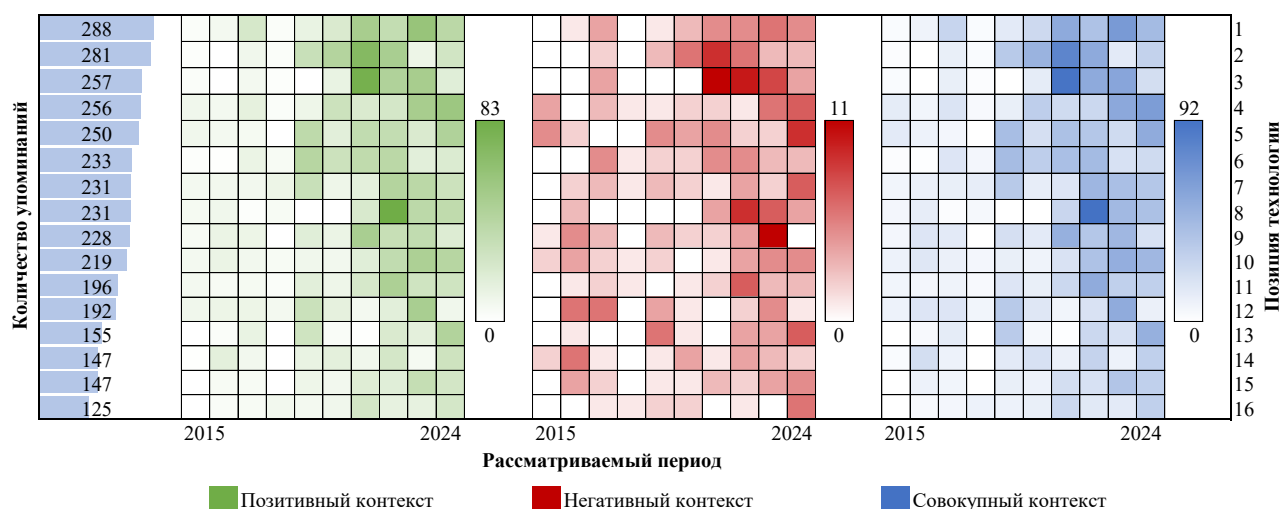


Рисунок 6. Тепловая карта, отображающая тренды технологий по годам.

Рисунок 6 показывает тренды по популярности различных технологий, диктуемые исследованиями 2015-2024 годов. Отображены 3 тепловые карты, соответствующие упоминаниям технологий в позитивном, негативном и совокупном контексте, соответственно. При этом более темные и насыщенные оттенки цвета указывают на более высокую частоту упоминания соответствующей технологии в указанный год. Благодаря данной визуализации, можно легко отслеживать тенденции в исследовательской деятельности, направленные на решение проблем подтопления, и находить те ключевые направления, которые стали более актуальными за последние годы. Рисунок 6 также отображает общее количество упоминаний различных технологий за весь 10-тилетний период. Так, наибольшее внимание привлекли такие технологии, как БПЛА, гидрологические модели, спутниковый мониторинг и МО, что указывает на их центральную роль в современных исследованиях. Среднее количество упоминаний наблюдается у IoT, видеомониторинга, сенсоры, LiDAR, большие данные и ИИ, что свидетельствует о стабильном интересе к этим технологиям. Реже обсуждаются ГИС, ДЗ, облачные вычисления, API и социальные медиа, вероятно, из-за их более узкого применения.

На рисунке 8 представлен прогноз количества упоминаний о различных технологиях на 2025-2034 годы.

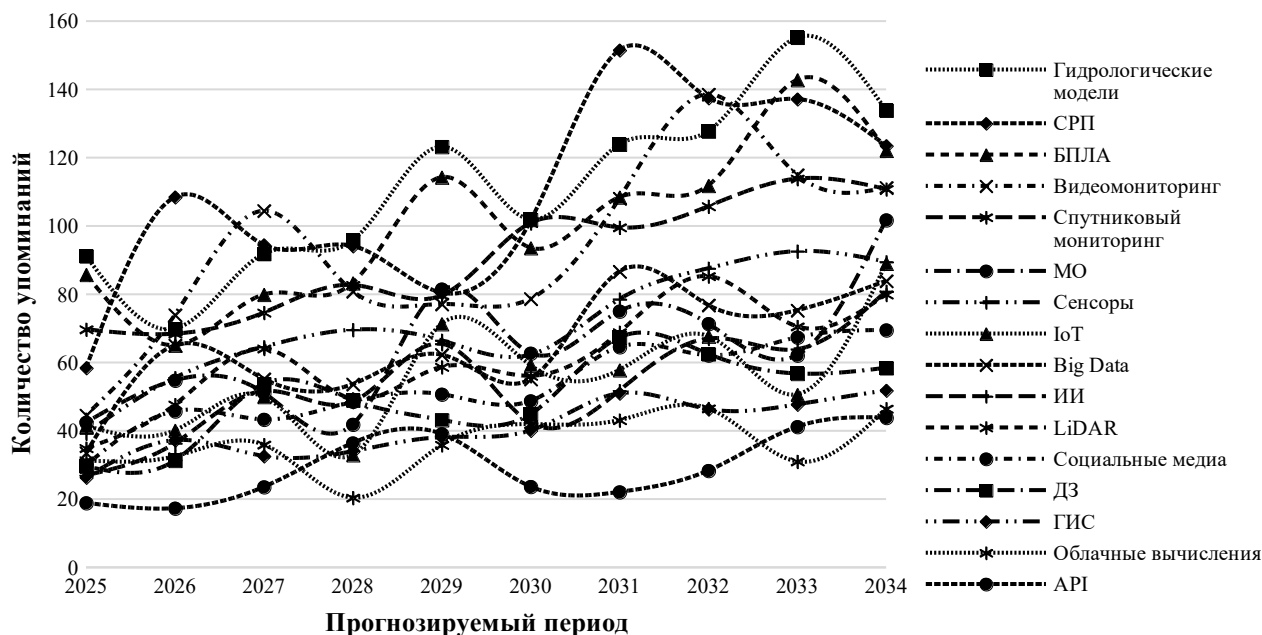


Рисунок 7. Прогноз количества упоминаний на ближайшие 10 лет.

По рисунку 7 видно, что самый значительный рост популярности ожидается у гидрологических моделей, систем раннего оповещения и БПЛА. Видеомониторинг, спутниковый мониторинг и МО также вырастут в популярности, с меньшими темпами. Что касается технологий, связанных с сенсорами, IoT, Big Data, ИИ, LiDAR и социальные медиа, то ожидается, что они сохранят стабильный рост популярности, демонстрируя устойчивый интерес. Таким образом, график раскрывает тенденцию и потенциал современных технологий для мониторинга, управления и предотвращения подтоплений.

Заключение

Анализ существующих современных методов мониторинга подтопляемых территорий выявил широкий спектр технологий, активно применяемых для снижения рисков и последствий подтоплений. Ключевую роль играют ГИС, ДЗ, IoT, сенсоры, БПЛА, а также аналитические и вычислительные подходы, основанные на ИИ и МО. Эти методы становятся все более актуальными ввиду глобального изменения климата, темпа урбанизации и учащения экстремальных погодных явлений.

Исследования отмечают, что использование современных технологий не только позволяет выявлять зоны риска, повышать точность и эффективность мониторинга, но и разрабатывает результативные решения для защиты инфраструктуры и населения от подтопления. Однако несмотря на прогресс в их применении, существуют определенные ограничения, такие, как дороговизна, сложность интеграции данных, зависимость

от качества данных, зависимость от погодных условий, необходимость технического обслуживания и т.д.

По анализу предлагаемых решений выявлено, что наиболее перспективным является интеграция между собой таких технологий, как ГИС и ДЗ, ДЗ и ЦМР, IoT и ИИ, БПЛА и ИИ, БПЛА и датчики, ИИ и МО, МО и ДЗ. Она может обеспечить точное прогнозирование, моделирование и реагирование в режиме реального времени. Эти комплексные подходы и решения демонстрируют потенциал для значительного уменьшения ущерба от подтоплений и быстрого реагирования на чрезвычайные ситуации.

Анализ трендов показывает, что в ближайшие годы будет расти популярность рассмотренных технологий. Прогнозируемый рост числа публикаций с упоминанием современных технологий указывает на их возрастающую роль.

Разработанные тепловые карты и выполненные прогнозы на ближайшие 10 лет акцентируют важность интеграции новых подходов. Это позволит обеспечить максимальную точность и эффективность мониторинга подтоплений, а также своевременность реагирования. Важно учитывать особенности каждой технологии и развивать стандарты ее применения в зависимости от климатических, географических, экономических и экологических условий.

Таким образом, дальнейшее развитие в этой области требует не только технического совершенствования, но и международного сотрудничества, инвестиций в обучение специалистов и адаптацию технологий для локальных условий. Это обеспечит устойчивое развитие инфраструктуры и минимизацию последствий подтоплений.

Источник финансирования

Данное исследование было профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP26195425).

Вклад авторов

Мухамеджанова А.Т. – методология, утверждение окончательной версии;

Кажимканулы Д. – сбор и анализ данных, написание текста, дизайн;

Утепов Е.Б. – концепция, интерпретация результатов работы;

Анискин А. – критический пересмотр, редактирование.

Список литературы

1. Urban waterlogging mitigation based on the concept of sponge city / C. Xi, N. Sakai // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2023. – Т. 1144, № 1. – С. 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1144/1/012010>
2. Experience and enlightenment of urban waterlogging disaster prevention in foreign countries / J. Lu, F. Li, Y. Wang // E3S Web of Conferences. – 2022. – Т. 352. – С. 03010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202235203010>
3. Analysis of urban waterlogging causes and LID techniques / B. Jiang // Highlights in Science, Engineering and Technology. – 2022. – Т. 5. – С. 244–249. <https://doi.org/10.54097/hset.v5i.749>
4. Excessive Water and Drainage Management in Agriculture: Disaster, Facilities Operation and Pollution Control / S. Wang, J. Xu // Water. – 2022. – Vol. 14, No. 16. – P. 2500. <https://doi.org/10.3390/w14162500>

5. WATERLOGGED SOILS: CAUSES, CHALLENGES AND MANAGEMENT STRATEGIES / A. Patra, R.P. Singh, B.K. Singh, M.S. Kundu, G. Kumar, S. Mukherjee // *Futuristic Trends in Agriculture Engineering & Food Sciences Volume 3 Book 19* Iterative International Publisher, Selfypage Developers Pvt Ltd, 2024. – C. 49–58. <https://doi.org/10.58532/V3BCAG19P3CH1>
6. Effects of changing atmospheric circulation patterns on waterlogging potential in Southeast Europe / M. Mesaroš, D. Pavić, I. Leščešen. — 2023. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-14880>
7. Water Logging in South-Western Coastal Region of Bangladesh: Causes and Consequences and People's Response / M.A. Awal, A.F.M.T. Islam // *Asian Journal of Geographical Research*. – 2020. – C. 9–28. <https://doi.org/10.9734/ajgr/2020/v3i230102>
8. Comprehensive planning of drainage and waterlogging prevention layout based on urban double repair concept / Q. Xu, P. Chen // *Desalination and Water Treatment*. – 2022. – Vol. 268. – P. 285–295. <https://doi.org/10.5004/dwt.2022.28701>
9. Analyzing the causes of urban waterlogging and sponge city technology in China / Y.-F. Ning, W.-Y. Dong, L.-S. Lin, Q. Zhang // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2017. – T. 59. – C. 012047. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/59/1/012047>
10. Use of geotechnologies in integrated assessment of urban drainage, water resources and urbanization / E. Pacheco, A. Finotti // *International Journal of Sustainable Development and Planning*. – 2015. – Vol. 10, No. 4. – P. 453–466. <https://doi.org/10.2495/SDP-V10-N4-453-466>
11. Reclamation of Waterlogged Lowland in Indo-Gangetic Alluvial Plains Using Some Biodrainage Species / M. Banik, A. Sarkar, P. Ghatak, R. Ray, S.K. Patra // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. – 2018. – T. 7, № 2. – C. 1028–1038. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.702.127>
12. Drainage induced waterlogging problem and its impact on farming system: a study in Gosaba Island, Sundarban, India / S. Ghosh, B. Mistri // *Spatial Information Research*. – 2020. – Vol. 28, No. 6. – P. 709–721. <https://doi.org/10.1007/s41324-020-00328-8>
13. Towards Monitoring Waterlogging with Remote Sensing for Sustainable Irrigated Agriculture / N. Den Besten, S. Steele-Dunne, R. De Jeu, P. Van Der Zaag // *Remote Sensing*. – 2021. – Vol. 13, No. 15. – P. 2929. <https://doi.org/10.3390/rs13152929>
14. Flood Monitoring Based on Remote Sensing of the Earth / L. Pavlova, D. Shaimardanov, A. Atnabaev, D. Mukhametov // *Bulletin of Science and Practice*. – 2024. – Vol. 10, No. 7. – P. 82–85. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/104/11>
15. An integrated approach for identification of waterlogged areas using RS and GIS technique and groundwater modelling / S. Kaushik, P.R. Dhote, P.K. Thakur, B.R. Nikam, S.P. Aggarwal // *Sustainable Water Resources Management*. – 2019. – Vol. 5, No. 4. – P. 1887–1901. <https://doi.org/10.1007/s40899-019-00342-1>
16. Hydro-Sentinel: Flood Water Observation and Extraction System / J. Karthikeyan, B. Khan L, P. Kumar, G. Supraja // *2024 International Conference on Signal Processing, Computation, Electronics, Power and Telecommunication (IConSCEPT)*. – Karaikal, India: IEEE, 2024. – C. 1–6. <https://doi.org/10.1109/IConSCEPT61884.2024.10627873>
17. Flood Guard: A Holistic Approach with IoT and AI Technologies / J. Gupta // *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. – 2024. – T. 12, № 6. – C. 1005–1010. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.61979>
18. Urban waterlogging monitoring system based on LoRa technology / F. Shao, P. Zeng // *ITM Web of Conferences*. – 2022. – T. 47. – C. 01019. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20224701019>

19. Real-Time IoT Based Urban Street Water-Logging Monitoring System Using Google Maps / Md.I. Malek, R. Nanjiba, Z. Nayeem // 2020 2nd International Conference on Image Processing and Machine Vision. – Bangkok Thailand: ACM, 2020. – P. 100–104. <https://doi.org/10.1145/3421558.3421574>
20. IOT-Based Flood Monitoring and Alarm System / Prof.V. Kumar, Mr.N. Kadnar, Mr.A. Gosavi, Mr.O. Jadhav // International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. — 2023. – T. 11, № 5. – С. 5142–5146. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.52858>
21. UAV Integrated Internet-of-Vehicle (IoV) System for Flooding Monitoring and Rescue / B. Liu, F. Ayaz, H.D. Anh, O. Edwards, Y. Zeng, Z. Sheng, X. Duan, D. Tian // Proceedings of 2022 International Conference on Autonomous Unmanned Systems (ICAUS 2022): Vol. 1010: Lecture Notes in Electrical Engineering. – Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. – P. 1004–1014. https://doi.org/10.1007/978-981-99-0479-2_91
22. Flood Detection Based on Unmanned Aerial Vehicle System and Deep Learning / K. Yang, S. Zhang, X. Yang, N. Wu // Complexity. – 2022. – Vol. 2022, No. 1. – P. 6155300. <https://doi.org/10.1155/2022/6155300>
23. Flood Detection Using Real-Time Image Segmentation from Unmanned Aerial Vehicles on Edge-Computing Platform / D. Hernández, J.M. Cecilia, J.-C. Cano, C.T. Calafate // Remote Sensing. – 2022. — Vol. 14, No. 1. – P. 223. <https://doi.org/10.3390/rs14010223>
24. The use of unmanned aerial vehicles for forecasting and preventing floods / D. Gura, P. Malimonenko, N. Dyakova, A. Solodunov // E3S Web of Conferences. – 2021. – T. 258. – C. 02028. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125802028>
25. Real-Time and Intelligent Flood Forecasting Using UAV-Assisted Wireless Sensor Network / S. Goudarzi, S. Ahmad Soleymani, M. Hossein Anisi, D. Ciunzo, N. Kama, S. Abdullah, M. Abdollahi Azgomi, Z. Chaczko, A. Azmi // Computers, Materials & Continua. – 2022. – Vol. 70, No. 1. – P. 715–738. <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.019550>
26. Intelligent Prediction Method for Waterlogging Risk Based on AI and Numerical Model / Y. Liu, Y. Liu, J. Zheng, F. Chai, H. Ren // Water. – 2022. –Vol. 14, No. 15. – P. 2282. <https://doi.org/10.3390/w14152282>
27. Intelligent Solutions for Flood Management: Integrating Artificial Intelligence and Machine Learning / N.G. Paswan, L.K. Ray // Big Data, Artificial Intelligence, and Data Analytics in Climate Change Research: Advances in Geographical and Environmental Sciences. — Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. — P. 43–55. https://doi.org/10.1007/978-981-97-1685-2_3
28. Flooded Extent and Depth Analysis Using Optical and SAR Remote Sensing with Machine Learning Algorithms / J. Soria-Ruiz, Y.M. Fernandez-Ordoñez, J.P. Ambrosio-Ambrosio, M.J. Escalona-Maurice, G. Medina-García, E.D. Sotelo-Ruiz, M.E. Ramirez-Guzman // Atmosphere. – 2022. – Vol. 13, No. 11. – P. 1852. <https://doi.org/10.3390/atmos13111852>
29. A novel approach based on TCN-LSTM network for predicting waterlogging depth with waterlogging monitoring station / J. Yao, Z. Cai, Z. Qian, B. Yang // PLOS ONE. – 2023. – Vol. 18, No. 10. – P. e0286821. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286821>
30. Information system for flood monitoring based on IoT and AI / A.J. Wilson, A. Pon Bharathi, M. Anoop, J. Angelin Jeba Malar // 2023 2nd International Conference on Smart Technologies and Systems for Next Generation Computing (ICSTSN). – Villupuram, India: IEEE, 2023. – C. 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICSTSN57873.2023.10151466>

А.Т. Мухамеджанова¹, Д. Қажимқанұлы¹, Е.Б. Утепов¹, А. Анискин²

¹Л.Н. Гумилева атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

²Солтүстік Университеті, Вараждин, Хорватия

Су басқан аумақтарды бақылаудың заманауи технологиялары және олардың инфрақұрылымға әсері

Аңдатпа. Бұл шолу мақаласы сулы-батпақты жерлерді бақылаудың заманауи технологияларын және олардың инфрақұрылымға әсерін талдауға бағытталған. Қаралған мақалалардың ерекшелігі шолу құрылымын қалыптастыратын 5 негізгі санатты анықтауға мүмкіндік берді, оның ішінде су ресурстарын басқару және инфрақұрылымдық шешімдер; деректерге негізделген мониторинг және болжау; Заттар Интернеті (IoT); әуедегі және мобильді технологиялар; аналитикалық және есептеу әдістері. Шолу үшін мақалаларды таңдау кезінде заманауи шешімдерді ұсынатындар артықшылыққа ие болды, соның ішінде Географиялық Ақпараттық Жүйелер (ГАЗ), Қашықтықтан Зондтау (ҚЗ), IoT, Ұшқышсыз Ұшу Аппараттары (ҰҰА), Машиналық Оқыту (МО) және Жасанды Интеллект (ЖИ). Осы шешімдерге талдау жасалып, олардың кемшіліктері анықталды. Шолу кешенді шешімдер су басқан аумақтарды нақты уақыт режимінде тиімдірек және дәлірек бақылауды, болжауды және анықтауды қамтамасыз ететінін анықтады. Шолу мониторинг, тәуекел аймақтарын болжау және батпақты жерлерді анықтау үшін тиімдірек және дәлірек жүйелерді құру үшін әртүрлі заманауи технологияларды біріктірудің маңыздылығын көрсетеді. Су басқан аумақтарды бағалау үшін ЖИ мен ҰҰА, нақты уақыт режимінде су деңгейін бақылау үшін ЖИ мен IoT және су тасқыны қаупін болжау үшін ЖИ мен МО пайдалану сияқты кешенді шешімдерді қолдануға ерекше назар аударылады. Соңғы 10 жылдағы жарияланымдарды талдау климаттың өзгеруі, урбанизация және ауа-райының күрт өзгеруі жағдайында батпақтанудың өзектілігінің және шешілуінің қиындығының артуына байланысты шешімдерге деген қызығушылықтың айтарлықтай артқанын көрсетеді. Болашақта мұндай тәсілдер су тасқыны қаупін басқару, халықты және инфрақұрылымды қорғау стратегияларын әзірлеуде шешуші рөл атқарады деп болжануда.

Түйін сөздер: субасу, мониторинг, заманауи технологиялар, тәуекелді бағалау, инфрақұрылым.

A.T. Mukhamejanova¹, D. Kazhimkanuly¹, Ye.B. Uteпов¹, A. Aniskin²

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

²University North, Varaždin, Croatia

Modern technologies for monitoring waterlogged areas and their impact on infrastructure

Abstract. This review article analyzes modern technologies for monitoring waterlogged areas and their impact on infrastructure. The specificity of considered articles led to determining 5 main categories that formed the structure of the review, including water management and infrastructure solutions; data-driven monitoring and forecasting; Internet of Things (IoT); airborne and mobile technologies; analytical and computational methods. When selecting articles for review, those that offer modern solutions had

an advantage, including Geographic Information Systems (GIS), Remote Sensing (RS), IoT, Unmanned Aerial Vehicles (UAV), Machine Learning (ML), and Artificial Intelligence (AI). An analysis of these solutions has been carried out and their disadvantages have been identified. The review revealed the integrated solutions provide more efficient and accurate real-time monitoring, prediction, and detection of waterlogged areas. The review highlights the importance of integrating various modern technologies to create more efficient and accurate systems for monitoring, predicting risk zones, and detecting waterlogged areas. Particular attention is paid to the application of integrated solutions such as the use of UAV with AI for flooded area estimation, IoT with AI for real-time water level monitoring, and ML with AI for flood risk prediction. An analysis of publications over the last 10 years shows a significant increase in interest in these solutions due to the increasing relevance and difficulty of waterlogging problem solutions in the face of climate change, urbanization, and extreme weather events. It is predicted that in the future such approaches will play a key role in the development of flood risk management strategies, protecting populations and infrastructure.

Keywords: waterlogging, monitoring, modern technologies, risk assessment, infrastructure.

References

1. Urban waterlogging mitigation based on the concept of sponge city / C. Xi, N. Sakai // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2023. – T. 1144, № 1. – C. 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1144/1/012010>
2. Experience and enlightenment of urban waterlogging disaster prevention in foreign countries / J. Lu, F. Li, Y. Wang // E3S Web of Conferences. – 2022. – T. 352. – C. 03010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202235203010>
3. Analysis of urban waterlogging causes and LID techniques / B. Jiang // Highlights in Science, Engineering and Technology. – 2022. – T. 5. – C. 244–249. <https://doi.org/10.54097/hset.v5i.749>
4. Excessive Water and Drainage Management in Agriculture: Disaster, Facilities Operation and Pollution Control / S. Wang, J. Xu // Water. – 2022. – Vol. 14, No. 16. – P. 2500. <https://doi.org/10.3390/w14162500>
5. WATERLOGGED SOILS: CAUSES, CHALLENGES AND MANAGEMENT STRATEGIES / A. Patra, R.P. Singh, B.K. Singh, M.S. Kundu, G. Kumar, S. Mukherjee // Futuristic Trends in Agriculture Engineering & Food Sciences Volume 3 Book 19 Iterative International Publisher, Selfypage Developers Pvt Ltd, 2024. – C. 49–58. <https://doi.org/10.58532/V3BCAG19P3CH1>
6. Effects of changing atmospheric circulation patterns on waterlogging potential in Southeast Europe / M. Mesaroš, D. Pavić, I. Leščešen. — 2023. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-14880>
7. Water Logging in South-Western Coastal Region of Bangladesh: Causes and Consequences and People's Response / M.A. Awal, A.F.M.T. Islam // Asian Journal of Geographical Research. – 2020. – C. 9–28. <https://doi.org/10.9734/ajgr/2020/v3i230102>
8. Comprehensive planning of drainage and waterlogging prevention layout based on urban double repair concept / Q. Xu, P. Chen // Desalination and Water Treatment. – 2022. – Vol. 268. – P. 285–295. <https://doi.org/10.5004/dwt.2022.28701>
9. Analyzing the causes of urban waterlogging and sponge city technology in China / Y.-F. Ning, W.-Y. Dong, L.-S. Lin, Q. Zhang // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – T. 59. – C. 012047. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/59/1/012047>

10. Use of geotechnologies in integrated assessment of urban drainage, water resources and urbanization / E. Pacheco, A. Finotti // *International Journal of Sustainable Development and Planning*. – 2015. – Vol. 10, No. 4. – P. 453–466. <https://doi.org/10.2495/SDP-V10-N4-453-466>
11. Reclamation of Waterlogged Lowland in Indo-Gangetic Alluvial Plains Using Some Biodrainage Species / M. Banik, A. Sarkar, P. Ghatak, R. Ray, S.K. Patra // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. – 2018. – Т. 7, № 2. – С. 1028–1038. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.702.127>
12. Drainage induced waterlogging problem and its impact on farming system: a study in Gosaba Island, Sundarban, India / S. Ghosh, B. Mistri // *Spatial Information Research*. – 2020. – Vol. 28, No. 6. – P. 709–721. <https://doi.org/10.1007/s41324-020-00328-8>
13. Towards Monitoring Waterlogging with Remote Sensing for Sustainable Irrigated Agriculture / N. Den Besten, S. Steele-Dunne, R. De Jeu, P. Van Der Zaag // *Remote Sensing*. – 2021. – Vol. 13, No. 15. – P. 2929. <https://doi.org/10.3390/rs13152929>
14. Flood Monitoring Based on Remote Sensing of the Earth / L. Pavlova, D. Shaimardanov, A. Atnabaev, D. Mukhametov // *Bulletin of Science and Practice*. – 2024. – Vol. 10, No. 7. – P. 82–85. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/104/11>
15. An integrated approach for identification of waterlogged areas using RS and GIS technique and groundwater modelling / S. Kaushik, P.R. Dhote, P.K. Thakur, B.R. Nikam, S.P. Aggarwal // *Sustainable Water Resources Management*. – 2019. – Vol. 5, No. 4. – P. 1887–1901. <https://doi.org/10.1007/s40899-019-00342-1>
16. Hydro-Sentinel: Flood Water Observation and Extraction System / J. Karthikeyan, B. Khan L, P. Kumar, G. Supraja // *2024 International Conference on Signal Processing, Computation, Electronics, Power and Telecommunication (IConSCEPT)*. – Karaikal, India: IEEE, 2024. – С. 1–6. <https://doi.org/10.1109/IConSCEPT61884.2024.10627873>
17. Flood Guard: A Holistic Approach with IoT and AI Technologies / J. Gupta // *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. – 2024. – Т. 12, № 6. – С. 1005–1010. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.61979>
18. Urban waterlogging monitoring system based on LoRa technology / F. Shao, P. Zeng // *ITM Web of Conferences*. – 2022. – Т. 47. – С. 01019. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20224701019>
19. Real-Time IoT Based Urban Street Water-Logging Monitoring System Using Google Maps / Md.I. Malek, R. Nanjiba, Z. Nayeem // *2020 2nd International Conference on Image Processing and Machine Vision*. – Bangkok Thailand: ACM, 2020. – P. 100–104. <https://doi.org/10.1145/3421558.3421574>
20. IOT-Based Flood Monitoring and Alarm System / Prof.V. Kumar, Mr.N. Kadnar, Mr.A. Gosavi, Mr.O. Jadhav // *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. — 2023. – Т. 11, № 5. – С. 5142–5146. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.52858>
21. UAV Integrated Internet-of-Vehicle (IoV) System for Flooding Monitoring and Rescue / B. Liu, F. Ayaz, H.D. Anh, O. Edwards, Y. Zeng, Z. Sheng, X. Duan, D. Tian // *Proceedings of 2022 International Conference on Autonomous Unmanned Systems (ICAUS 2022): Vol. 1010: Lecture Notes in Electrical Engineering*. – Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. – P. 1004–1014. https://doi.org/10.1007/978-981-99-0479-2_91
22. Flood Detection Based on Unmanned Aerial Vehicle System and Deep Learning / K. Yang, S. Zhang, X. Yang, N. Wu // *Complexity*. – 2022. – Vol. 2022, No. 1. – P. 6155300. <https://doi.org/10.1155/2022/6155300>

23. Flood Detection Using Real-Time Image Segmentation from Unmanned Aerial Vehicles on Edge-Computing Platform / D. Hernández, J.M. Cecilia, J.-C. Cano, C.T. Calafate // Remote Sensing. – 2022. – Vol. 14, No. 1. – P. 223. <https://doi.org/10.3390/rs14010223>
24. The use of unmanned aerial vehicles for forecasting and preventing floods / D. Gura, P. Malimonenko, N. Dyakova, A. Solodunov // E3S Web of Conferences. – 2021. – T. 258. – C. 02028. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125802028>
25. Real-Time and Intelligent Flood Forecasting Using UAV-Assisted Wireless Sensor Network / S. Goudarzi, S. Ahmad Soleymani, M. Hossein Anisi, D. Ciunzo, N. Kama, S. Abdullah, M. Abdollahi Azgomi, Z. Chaczko, A. Azmi // Computers, Materials & Continua. – 2022. – Vol. 70, No. 1. – P. 715–738. <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.019550>
26. Intelligent Prediction Method for Waterlogging Risk Based on AI and Numerical Model / Y. Liu, Y. Liu, J. Zheng, F. Chai, H. Ren // Water. – 2022. – Vol. 14, No. 15. – P. 2282. <https://doi.org/10.3390/w14152282>
27. Intelligent Solutions for Flood Management: Integrating Artificial Intelligence and Machine Learning / N.G. Paswan, L.K. Ray // Big Data, Artificial Intelligence, and Data Analytics in Climate Change Research: Advances in Geographical and Environmental Sciences. – Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. — P. 43–55. https://doi.org/10.1007/978-981-97-1685-2_3
28. Flooded Extent and Depth Analysis Using Optical and SAR Remote Sensing with Machine Learning Algorithms / J. Soria-Ruiz, Y.M. Fernandez-Ordoñez, J.P. Ambrosio-Ambrosio, M.J. Escalona-Maurice, G. Medina-García, E.D. Sotelo-Ruiz, M.E. Ramirez-Guzman // Atmosphere. – 2022. – Vol. 13, No. 11. – P. 1852. <https://doi.org/10.3390/atmos13111852>
29. A novel approach based on TCN-LSTM network for predicting waterlogging depth with waterlogging monitoring station / J. Yao, Z. Cai, Z. Qian, B. Yang // PLOS ONE. – 2023. – Vol. 18, No. 10. – P. e0286821. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286821>
30. Information system for flood monitoring based on IoT and AI / A.J. Wilson, A. Pon Bharathi, M. Anoop, J. Angelin Jeba Malar // 2023 2nd International Conference on Smart Technologies and Systems for Next Generation Computing (ICSTSN). – Villupuram, India: IEEE, 2023. – C. 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICSTSN57873.2023.10151466>

Сведения об авторах:

Мухамеджанова А.Т. – PhD, и.о. доцента кафедры «Строительство», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, 010008, Астана, Казахстан.

Кажимканулы Д. – докторант кафедры «Строительство», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, 010008, Астана, Казахстан.

Утепов Е.Б. – PhD, профессор кафедры «Строительство», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, 010008, Астана, Казахстан.

Анискин А. – к.т.н., ассоциированный профессор кафедры «Строительство», Университет Север, ул. 104. бригада 3, 42000, Вараждин, Хорватия.

Мухамеджанова А.Т. – PhD, «Құрылыс» кафедрасының доцента м.а., Л.Н. Гумилева атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев 2 к-сі, 010008, Астана, Қазақстан.

Қажимқанұлы Д. – «Құрылыс» кафедрасының докторанты, Л.Н. Гумилева атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев 2 к-сі, 010008, Астана, Қазақстан.

Утепов Е.Б. – PhD, «Құрылыс» кафедрасының профессоры, Л.Н. Гумилева атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев 2 к-сі, 010008, Астана, Қазақстан.

Анискин А. – к.т.н., «Құрылыс» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Солтүстік Университеті, ул. 104. бригада 3 к-сі, 42000, Вараждин, Хорватия.

Mukhamejanova A.T. – PhD, Acting Associate Professor of the Department of Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev street, 010008, Astana, Kazakhstan.

Kazhimkanuly D. – PhD Student of the Department of Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev street, 010008, Astana, Kazakhstan.

Uteпов Ye.B. – PhD, Professor of the Department of Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev street, 010008, Astana, Kazakhstan.

Aniskin A. – C.t.s., Associate Professor of the Department of Civil Engineering, University North, 104. brigade 3, 42000, Varaždin, Croatia.



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 67.25.19.

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-150-1-249-264>

Научная статья

К вопросу формирования единого каркаса общественных пространств в городе Астане

А.Ш. Кайдаров^{ID}, Г.А. Карабаев^{1*}^{ID}

Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина,
Астана, Казахстан

(E-mail: *karabaew88@mail.ru)

Аннотация. Общественные пространства на современном этапе – это ключевые узлы социальной активности и культурного обогащения населения. В условиях глобализации и урбанизации подобные городские узлы стали важным элементом для формирования социальной, культурной и общественной идентичности горожан. Сегодня общественные пространства — это не просто место в городской структуре, а сеть из нескольких узловых центров, которые формируют единый каркас социально значимых мест города с целью укрепления общественного единства.

Целью настоящего исследования является выявление единого каркаса общественных пространств на примере города Астаны, формирующегося из обособленных городских социальных узлов.

Исследование основано на анализе сложившейся ситуации размещения общественных пространств в городской структуре, на натурном исследовании градостроительной ситуации города Астаны, на анализе принципов архитектурно-планировочной организации общественных пространств, на основе изучения нормативно-регламентирующей документации в области архитектуры и градостроительства, а также на основе воссоздания единого каркаса общественных пространств посредством компьютерных программ (единый каркас общественных пространств на основе линейно-узлового принципа).

Результаты исследования показали, что формирование единого каркаса общественных пространств города представляет собой сложную многогранную систему, которая в перспективе развития населенного пункта может определить уникальный архитектурно-художественный образ города.

Ключевые слова: городской узел, общественное пространство, архитектура, композиция, планировочное решение, центр, градостроительство.

Поступила 04.02.2025. Доработана 07.03.2025. Одобрена 17.03.2025. Доступна онлайн 31.03.2025

¹автор для корреспонденции

Введение

Разработка общественных пространств требует глубокого понимания потребности общества. Такие социально значимые городские места должны обеспечить комфортное взаимодействие и интеграцию различных групп населения. Общественные пространства на современном этапе выполняют важную роль в социальной жизни горожан, функционируя как пространство для развития общества, удовлетворяющее потребности жителей в общественном плане посредством проведения разнообразных мероприятий, которые включают в себя культурные, образовательные и спортивные программы. Это подчеркивает важность общественных пространств как узловых точек в социальной сети города.

В XXI веке социальные связи и взаимодействия людей стали более тесными, современные технологии существенно сократили социальный разрыв общества в контексте доступа и обмена информацией. Необходимо подчеркнуть, что на сегодняшний день в Казахстане функционируют многочисленные информационные социальные платформы. Население активно ими пользуется, и это, безусловно, консолидирует общество. Консолидация общества – это одно из ключевых направлений развития современного мира. Таким образом, можно констатировать, что общество стремится к созданию порядка и системности во всех областях своей жизнедеятельности.

Формирование единой сети общественных пространств – это актуальная инициатива современного общества. Единый каркас социально значимых мест города может послужить площадкой для систематизации актуальных вопросов социума, обмена идеями, культурного обогащения и формирования единого активного гражданского общества.

Известно, что на современном этапе существуют различные «каркасы»: экологический каркас, природный каркас города, историко-культурный каркас и т.п., которые могут видоизменяться, адаптироваться и трансформироваться в зависимости от различных условий и факторов. Однако исторически сложившаяся градообразующая, устойчивая во времени пространственно-планировочная структура города – «каркас города» остается неизменной. Каркас города – планировочная структура, которая фиксирует геометрию градостроительного плана и определяет концепцию его перспективного территориального развития [1], а общественные пространства неразрывно связаны с каркасом города.

Методология

Во все времена архитектуре общественных пространств и центров уделялось должное внимание, так как это пространство в значительной мере способствует формированию эстетического и социального облика города. В контексте градостроительства, общественному центру отводится наиболее ответственное место в архитектурно-планировочной структуре и объемно-пространственном решении города.

В малых населенных пунктах общественный центр является композиционным ядром поселка, который формирует его архитектурно-художественный образ и индивидуальность [2]. Это обусловлено отсутствием других социально значимых

пространств в структуре населенного пункта, а также концентрацией большинства культурно-бытовых объектов в одном месте. В свою очередь, в городах формируется противоположная ситуация.

Для обсуждения и поиска решения назревших вопросов в отношении общественных пространств организовываются различные сессии, форумы и конференции с участием широкого круга специалистов. Так, участники сессии «Пространственное развитие и создание комфортной городской среды» на базе Самарского университета им. Королева обсуждали идею создания единого каркаса общественных пространств, отмечая концепцию сети социально значимых мест, которая соединит микрорайоны в единую систему с последующим формированием целостной карты благоустройства города [3]. Стоит отметить, что не во всех случаях общественные пространства могут отвечать всем интересам и потребностям социума.

Таким образом возникает вопрос: какова вероятность создания такого каркаса на этапе градостроительного проекта? Или же формирование единой системы общественных пространств города – это процесс постфактум?

При проведении данного исследования применялись следующие методы: – метод контент-анализа (анализ планов, схем, чертежей, иллюстраций и других видов материалов для выявления общих закономерностей); – сравнительный анализ (анализ градостроительной ситуации в контексте размещения общественных пространств отдельно взятых районов с последующим сравнением их между собой. Выявление общих черт и различий в архитектурно-планировочном решении общественных пространств); – метод компьютерного моделирования (создание каркаса общественных пространств посредством профессиональных графических программ – AutoCAD, CorelDraw и последующий анализ полученных результатов (рис. 1-4)); – натурное исследование (натурное инструментальное (детальное) обследование и сбор данных (фотосъемка) о фактическом состоянии общественных пространств и социально значимых мест города.

Результаты и Обсуждение

Известно, что градостроительное и функциональное назначение общественных центров и пространств – это композиционное ядро, формирующее архитектурно-художественный образ населенного пункта. Помимо этого, на современном этапе общественные пространства стали оказывать особое эмоциональное воздействие на население. Более того, это воздействие может усилиться под влиянием объектов, объединённых в единую архитектурную систему.

В большинстве случаев объекты культурно-бытового обслуживания концентрируются именно в общественных центрах. Известно, что в крупных населенных пунктах основное общественное пространство – это главная площадь.

На главной площади размещаются здания общественных и обслуживающих учреждений постоянного и периодического пользования. Однако существуют и другие архитектурно-планировочные и градостроительные решения. В ряде случаев это может быть обосновано сложившимся градостроительным условием, природно-

климатическим фактором и определенным композиционным замыслом. Более того, помимо общественного центра, расположенного в глубине селитебной территории, могут быть организованы небольшие вспомогательные пространства с размещением на ней определенных общественных зданий [4].

Складывается впечатление, что система общественных пространств формируется стихийно, а каждое социально значимое место города вбирает в себя определенные задачи и функционирует обособленно.

В исследовательском докладе «Хабитат III» отмечается, что одним из аспектов, определяющих характер города, является общественное пространство. Скверы, бульвары, сады, детские площадки и другие общественные места от малого до великого формируют своеобразный архитектурно-художественный образ города. В результате формируется объединяющая матрица улиц и общественных пространств, который создает единый каркас социальных мест в структуре города [5]. Исходя из выше сказанного можно констатировать, что общественные пространства являются элементом городского каркаса.

Безусловно, все ключевые элементы города, так или иначе, являются составными компонентами населенного пункта и формируют определенный, уникальный каркас города. Соответственно, выведение каждого такого элемента в определенную структуру систематизирует градостроительную ситуацию.

Об идее создания системы общественных пространств и стратегии регенерации социально значимых мест города говорится в труде Andreina Maahsen-Milan и Luigi Oliva. В работе отмечается, что особенность общественных пространств заключается в их периферийном расположении внутри мегаполисов, а также в их эпизодическом и фрагментарном характере. Разработка системы общественных пространств требует конкретных аналитических подходов и модели проектирования, которая основана на определенной структуре. Более того, в работе подчеркивается необходимость создания специализированного агентства по совместному управлению городскими пространствами, а также участие активных граждан в процессе планирования городской среды и учет более широких критериев всех социальных групп населения [6].

Как уже выше отмечалось, на современном этапе понятие «общественное пространство» вбирает в себя все городские социально-значимые места, начиная от малых дворовых территорий, заканчивая большими общегородскими площадями.

Так, Yuanduo Chen и др. классифицируют общественные пространства на три типа в зависимости от исторически сложившихся районов и права собственности на пространственные ресурсы.

Первый тип – социальные общественные пространства – это городские пространства, открытые для всех горожан.

Второй тип – коллективные общественные пространства – это пространство, где ресурсы находятся в коллективном владении, обслуживая потребности определенного сообщества.

Третий тип – групповые общественные пространства – это пространства, характеризующиеся определенным механизмом пространственного управления и

функциональной ориентацией, например, пространства для пожилых людей, детей и др. [7].

Следует констатировать, что городская площадь, в классическом её понимании, давно утратила свои основные функции как пространство, которое служило центром общественной жизни города. Современные градостроительные тенденции в корне изменили роль и наполняемость городской площади. К примеру, если в XX веке городская площадь окружалась важными социальными и административными объектами, то на современном этапе этот принцип утратил свою актуальность.

На текущий момент, по данным 2gis, в городе Астане существует шесть городских площадей (Рис. 1) в классической его интерпретации. Они не связаны между собой какой-либо системой или сетью, отчасти это результат поэтапной застройки города. Так, до 1993 года в городе существовала одна и по сути главная городская площадь, расположенная на пересечении улиц Бейбитшилик и Кенесары, а к 2024 году их число выросло до шести. Учитывая их расположение в структуре города, наблюдается явный уход от принципа «центральная точка» к принципу автономности и обособленности каждой городской площади. В результате локально каждая городская площадь выполняет свою существенную роль вне зависимости друг от друга, являясь центральной точкой для определённого района города.

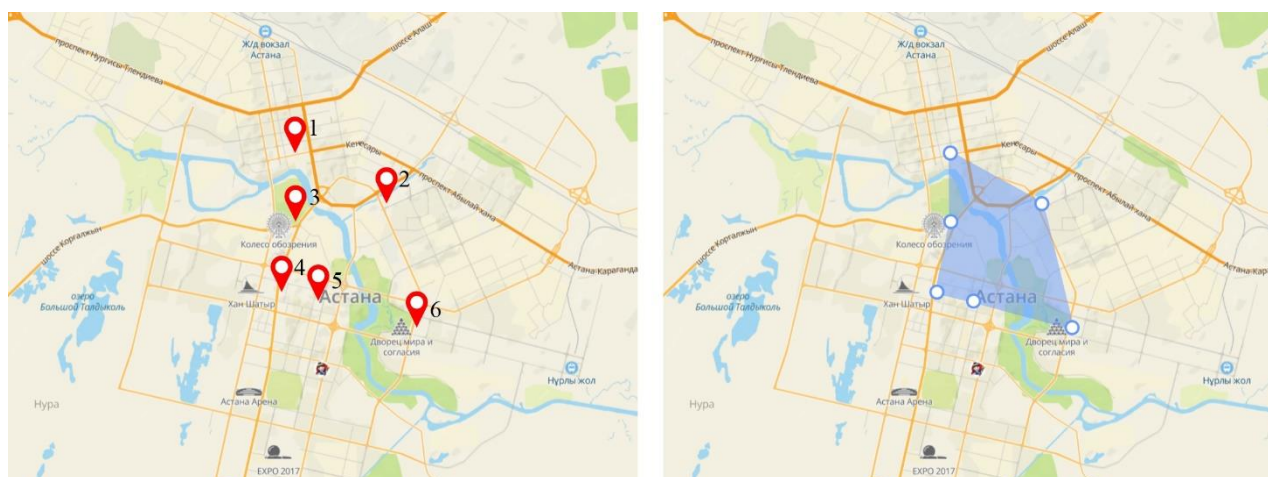


Рисунок 1. Ситуационная схема городских площадей г.Астаны.

Слева: 1 – городская площадь, 2 – площадь Защитников Отечества, 3 – площадь Государственных символов Казахстана, 4 – площадь фонтанов, 5 – площадь у монумента Байтерек, 6 – площадь «Қазақ елі».

Справа – система городских площадей.

Примечание: информация получена из приложения «2gis» [8].

В то же время отмеченные городские площади не являются явным центром притяжения населения, а выполняют функцию «обелиска», определяющего культуру, идентичность, напоминающего о важных событиях и исторических поворотах страны.

В большинстве случаев скопление горожан на таких общественных пространствах происходит исключительно в период памятных дат или мероприятий, а естественное собрание людей вовсе исключено.

Соответственно, можно сделать вывод, что роль и значимость общественных пространств определяется не проектным замыслом, а психоэмоциональным восприятием социума. Это является своего рода индикатором и показателем важности тех или иных городских общественных пространств.

Также на основании данных 2gis была составлена таблица пространственного распределения доминантных общественных пространств в городской структуре (Таб.1), по результатам которой стоит отметить следующие моменты: не в каждом районе имеется общественное пространство, которое является ядром для мелких и средних пространств, например, площадь Государственных символов Казахстана и пространство под мостом «Архар»; из представленных доминантных общественных пространств большинство имеет широкую общедоступность, ориентировано на пассивный отдых для всех групп населения, только общественное пространство под мостом «Архар» имеет групповой тип, ориентированный на активный отдых для детей и молодежи, а также представленные ядровые общественные пространства обладают комфортной пешей доступностью в пределах 50-300 метров.

Таблица 1. Пространственное распределение доминантных общественных пространств

№	Район	Наименование	Доступность	Тип	Ориентация	Ядро
1	Сарыарка	Городская площадь	Комфортная. Пешая доступность. Близлежащий жилой дом расположен на расстоянии не более 100 метров.	Социальный	Общедоступный. Пассивный отдых. Для всех групп населения.	Да. Является ядром для средних и мелких общественных пространств в районе Сарыарка.
2	Нура	Площадь Государственных символов Казахстана	Удовлетворительная. Пешая доступность. Близлежащий жилой дом расположен на расстоянии не более 300 метров.	Социальный	Общедоступный. Пассивный отдых. Для всех групп населения.	Нет. Не является ядром для средних и мелких общественных пространств в районе Нура.
3	Есиль	Площадь у монумента «Байтерек»	Комфортная. Пешая доступность. Близлежащий жилой дом расположен на расстоянии не более 50 метров.	Социальный	Общедоступный. Пассивный отдых. Для всех групп населения.	Да. Является ядром для средних и мелких общественных пространств в районе Есиль.

4	Алматы	Общественное пространство под мостом «Архар»	Неудовлетворительная. Близлежащий жилой дом расположен на расстоянии 600 метров.	Групповая	Ограниченный. Активный отдых. Спортивная ориентация. Для детей и подростков.	Нет. Не является ядром для средних и мелких общественных пространств в районе Алматы.
5	Сарайшык	Площадь «Қазақ елі»	Комфортная. Пешая доступность. Близлежащий жилой дом расположен на расстоянии не более 200 метров.	Социальный	Общедоступный. Пассивный отдых. Для всех групп населения.	Да. Является ядром для средних и мелких общественных пространств в районе Сарайшык.

Примечание: составлено на основании данных 2gis.

Наблюдение показывает, что население отдает предпочтение комфортному, духовному и эмоционально приятному общественному пространству, что, в свою очередь, приводит к образованию «народных» социально значимых пространств в структуре города. Благодаря этому можно проследить степень взаимодействия между официальным планированием социально значимых пространств и реальной городской жизнью.

Касательно ситуации общественных пространств в целом (Рис. 2), то можно отметить, следующее: первое – в большинстве случаев социально значимые места привязаны к общественным объектам (торгово-развлекательные центры, досуговые центры и т.п.) и являются непосредственным продолжением архитектурно-композиционного решения таких объектов, следовательно, формирование общественных пространств отдельно от общественных зданий не актуально и не отвечает современным требованиям социума; второе – присутствует явный перевес расположения общественных пространств в определенных зонах города, отчасти это следствие первого пункта; третье – вне зависимости от масштаба и размера общественных пространств они могут быть мало востребованы или вовсе не востребованы среди горожан. Подтверждением этому служат городские площади, которые в большинстве случаев вызывают интерес у туристов, а для местных жителей превратились в «транзитную зону». Исключением являются рекреационные зоны с обилием зеленых насаждений, такие, как центральный парк, ботанический сад и другие территории.

Анализ карты расположения общественных мест показывает, что количество общественных пространств в западной и восточной части города Астаны существенно меньше, чем в центральной части.

В различных социальных сетях жители этих районов высказывали недовольство об отсутствии общественных объектов и пространств, и для приятного времяпровождения им приходится ехать в центральную часть города.

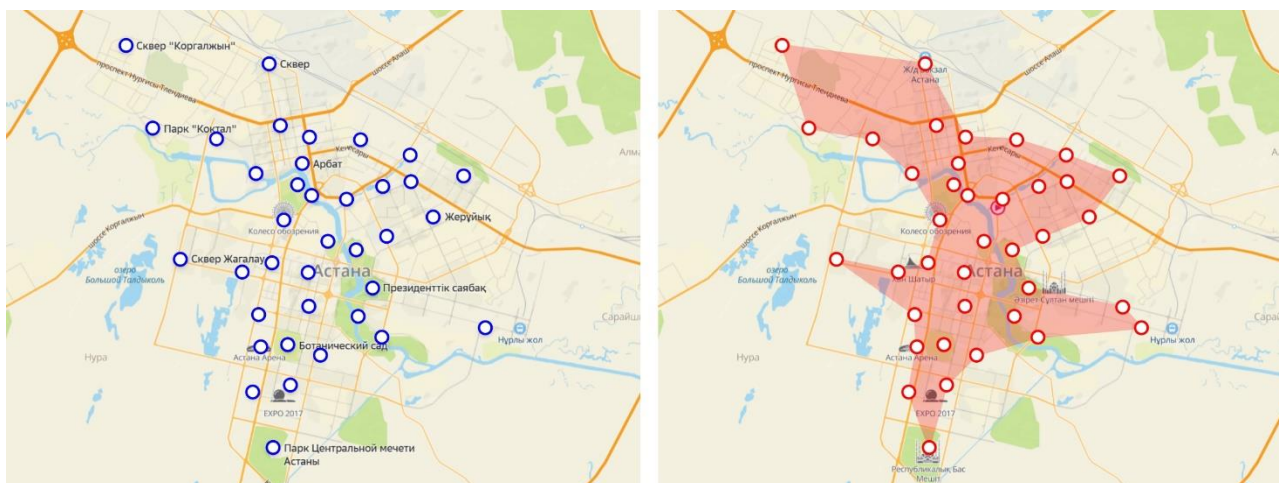


Рисунок 2. Ситуационная схема общественных пространств г. Астаны.

Справа – общественные пространства (парки, скверы и т.п.).

Слева – каркас общественных пространств.

Следовательно, можно сделать вывод, что общественные пространства формируются постфактум по текущей градостроительной ситуации, триггером которому служит новое многофункциональное общественное здание. Также стоит отметить, что появление нового общественного пространства на карте города может быть следствием реконструкции городской территории или после сноса ветхого жилья, примером является общественное пространство на пересечении улиц И.Есенберлина и Ы.Алтынсарина, что также подтверждает принцип постфактум.

Одним из основных задач сети и каркаса в целом – это обеспечение устойчивого функционирования системы, координация и взаимосвязь между различными частями населенного пункта. Следовательно, каркас общественного пространства должен обеспечить удобство и связанность всех элементов этой системы для достижения высоких показателей в комфорте социально значимых мест города.

При проведении графоаналитического анализа системы общественных пространств города Астаны было выявлено (Рис. 3), что городские площади являются ядром общественных пространств. Это наглядно видно на схеме взаимосвязи общественных пространств путем наложения зоны общественных пространств под зону городских площадей. Но, как уже отмечалось, каждая городская площадь – это самостоятельное, доминантное и обособленное социально значимое пространство в городской структуре. Если каждая городская площадь является доминантой в определенном районе, следовательно, общественные пространства, находящиеся в этом районе, должны быть в подчинении к ней.

Попытка выявления системы взаимосвязи каждого социально значимого места с доминантным центром демонстрирует отсутствие какой-либо закономерности в этом. Соответственно, каждое общественное пространство, вне зависимости от её функционального наполнения и задач, является сепаратным элементом городской

структуры. Но в то же время нельзя исключать из внимания, что общественные пространства являются элементом, определяющим социальный каркас города.

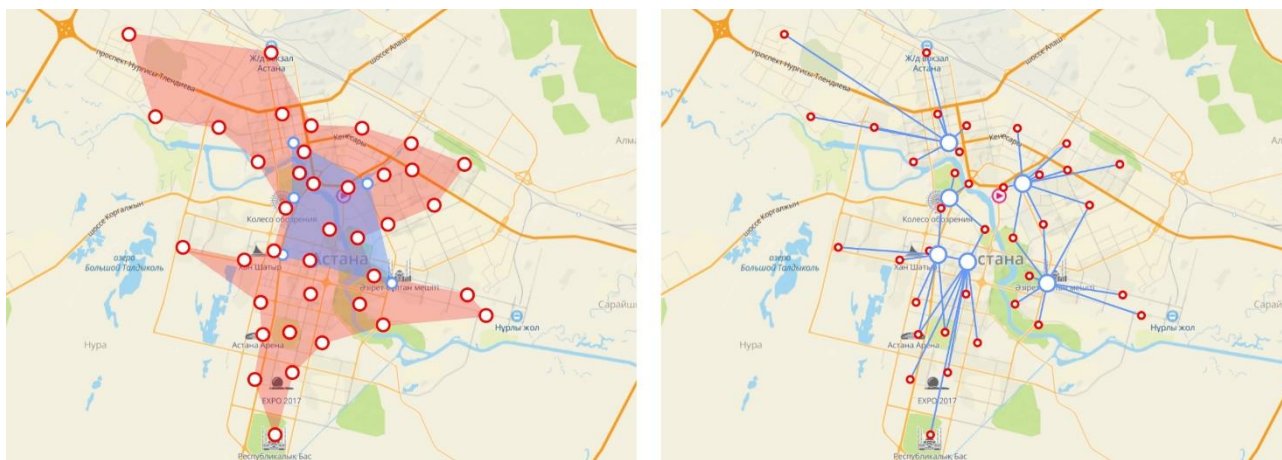


Рисунок 3. Схема взаимосвязи общественных пространств.
Справа – зона общественных пространств и городских площадей.
Слева – каркас взаимосвязи общественных пространств.

В процессе изучения данной темы было уделено внимание системе общественных пространств в городах, расположенных в морских акваториях (Актау, Атырау). В таких городах одним из ключевых факторов, формирующих социально значимые места, являются природно-климатические и ландшафтные условия. В конечном итоге это определяет архитектурное своеобразие системы общественных пространств таких городов.

Моор В.К. и Ерышева Е.А. выявили принципы формирования эффективной системы общественных пространств в городах, расположенных в морских акваториях [9]. Из них стоит отметить следующие принципы, которые соответствуют региональным особенностям города Астаны:

- необходимость перехода от разрозненных социально значимых мест к целостной системе общественных пространств;
- сфокусировать внимание на всех социальных потребностях горожан в контексте общественных пространств;
- расширение типологии социально значимых мест города;
- комплексный подход в учете природно-климатических условий для достижения биоклиматического комфорта пребывания людей в общественных пространствах;
- целенаправленная разработка единой системы общественных пространств в контексте базовых смыслов, что, в свою очередь, требует полного творческого переосмысления и развития социально значимых мест города.

Известно, что города непрерывно трансформируются, адаптируются под реалии времени. На современном этапе города находятся на этапе эволюции в силу глобальной цифровизации и массовой информативности. Потаев Г.А. в своем труде отмечает, что общественные пространства являются «фокусами» городской активности [10].

Социально значимые городские узлы выполняют ключевую коммуникативную и структурообразующую роль по отношению к городским территориям разного назначения. Также автор подчеркивает необходимость формирования каркаса общественных пространств в виде линейно-узловой системы, где узловыми элементами выступают городские площади, общественные центры, культурно-исторические пространства и общественные комплексы, а в качестве линейных элементов выступают улицы, пешеходные пути, велодорожки, линии общественного транспорта.

Одним из методов достижения качественной городской среды – это целенаправленная организация непрерывной единой системы общественных пространств города. Так, Чуй Я.В. выявил определенные условия формирования системы общественных пространств на примере города Красноярск. В работе отмечается, что общественным пространствам города свойственна многофункциональность. В совокупности они представляют собой некий незримый каркас в системе города, который динамично развивается и превращается в место притяжения горожан.

Особое внимание уделяется системе дорожно-уличной сети, которая является ключевым элементом в связи между общественными пространствами. Важным принципом в формировании системы общественных пространств является её доступность для всех категорий граждан [11]. В результате проведенной работы автор установил типологию элементов общественных пространств по характеру функционального взаимодействия и выявил факторы, влияющие на формирование системы общественных пространств, определив их как базовые факторы. К базовым факторам были отнесены: взаимосвязь прилегающей территории с улицами, влияние типологии объектов городской застройки, ресурс городской среды, масштабность городских пространств, охранные территории и проектные решения.

Для выявления каркаса общественных пространств на основе сложившейся градостроительной ситуации города Астаны было выполнено два варианта графоаналитического анализа (Рис. 4). Первый вариант каркаса общественных пространств построен на основе радиального принципа с доминирующим элементом в центре, а второй вариант – на основе линейно-узлового принципа. Результат проведенного анализа показал, что линейно-узловой принцип построения каркаса общественных пространств является более оптимальным и устойчивым в контексте перспективного развития системы общественных пространств.

По итогам проведенного исследования можно сделать вывод, что разработка системы общественных пространств требует комплексного подхода. Такая социально значимая система городских пространств должна обеспечить устойчивое свое функционирование в едином каркасе города. Это подчеркивает важность общественных пространств как узловых точек в социальной сети населенного пункта.

Всесторонний и грамотный подход к организации системы общественных пространств в значительной мере способствует формированию эстетического и социального облика города, отвечающего современным требованиям общества, а концепция единой системы социально значимых пространств в перспективе позволит сформировать цельную карту благоустройства города.

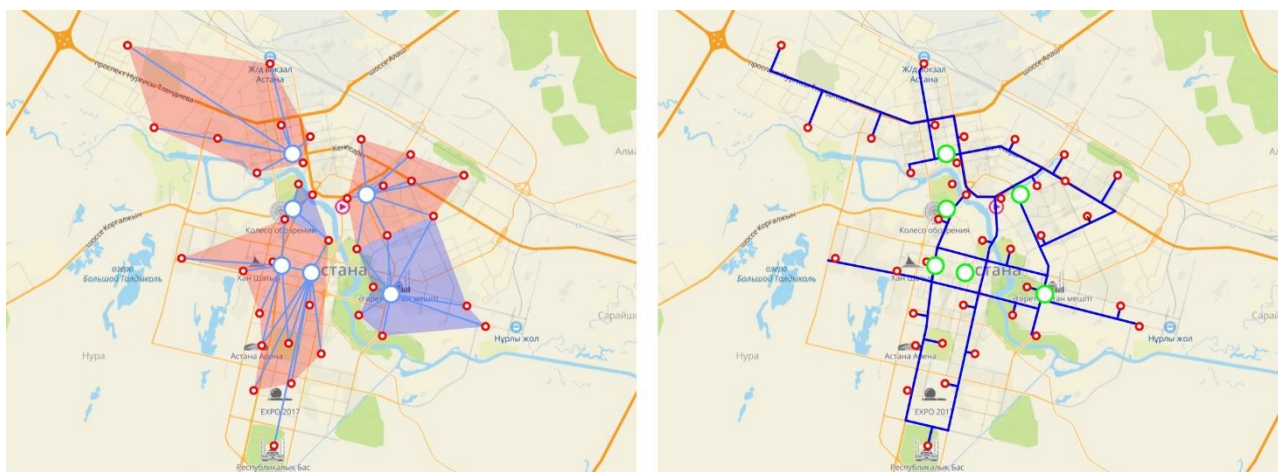


Рисунок 4. Линейно-узловая система общественных пространств.

Справа – зона общественных пространств по районам.

Слева – концепция каркаса общественных пространств на основе линейно-узлового принципа.

На текущий момент система общественных пространств формируется стихийно, а каждое социально значимое место города хоть и выполняет свои задачи, но всё же функционирует обособленно, вбирая в себя эпизодический и фрагментарный характер. Следовательно, необходимость систематизации общественных пространств возрастает многократно, что может привести к созданию специализированного агентства по управлению городскими пространствами. К сожалению, сложившаяся ситуация показывает, что официальное планирование социально значимых пространств не учитывает реалии городской жизни и допускает нежелательное действие в организации общественного пространства путем отдельного его размещения от общественных зданий и объектов.

В ходе анализа было установлено, что общественные пространства формируются постфактум по текущей градостроительной ситуации, а триггером для этого служит новое многофункциональное общественное здание. Также было выявлено отсутствие какой-либо закономерности во взаимосвязи общественных пространств между собой, что показывает их сепаратный характер.

Одним из принципов формирования качественной системы общественных пространств является линейно-узловая. Принцип линейно-узловой системы организации общественных пространств формирует непрерывный единый каркас общественных пространств города. При данном принципе особое внимание уделяется системе дорожно-уличной сети, которая является ключевым элементом в связи между общественными пространствами. Плюс к выше сказанному, для формирования качественной и эффективной системы общественных пространств рекомендуется:

Первое – необходимо отойти от разрозненных социально значимых пространств города к целостной системе общественных пространств.

Второе – сфокусировать внимание на всех социальных потребностях горожан в вопросе организации системы общественных пространств.

Третье – комплексный подход в учете природно-климатических условий, с целью достижения биоклиматического комфорта пребывания людей в общественных пространствах города.

Четвертое – полное творческое переосмысление и развитие социально значимых мест города в контексте устойчивого развития.

Заключение

На современном этапе в целом наблюдается изменение устоявшихся представлений о роли общественных пространств. Социально значимые места начали оказывать существенное влияние на развитие городской среды. В градостроительной практике все шире применяются различные системы каркаса и структуры, объединяющие однородные элементы города в кластер с единым городским ресурсом. Однозначно, такие перемены свидетельствуют об изменении творческого мышления архитекторов под современные реалии.

Общественные пространства – это неотъемлемая часть современного урбанизма, которые служат одним из индикаторов комфортности городской среды. Актуальность формирования системы общественных пространств города обусловлена стремлением повышения уровня социального взаимодействия горожан, выявления депрессивных и требующих фокусного внимания городских территорий.

Наличие каркаса общественных пространств может сыграть ключевую роль в сохранении экологического равновесия города, предоставляя полную и актуальную информацию об общественных местах, что, в свою очередь, сбалансирует город в социальном аспекте.

Формирование единой системы общественных пространств города – это своевременное решение по обеспечению гармонии и удобства взаимодействия жителей с городским пространством; инфраструктура, которая понятна и удобна для горожан и гостей города; это один из способов сближения населения и повышение социальной сплоченности людей; система гармоничной интеграции архитектуры, ландшафтного дизайна и элементов городской среды; способ избежать хаотичной и нецелесообразной организации городской среды; достижение баланса между функциональностью и эстетикой городского пространства.

Наличие центральной системы управления и координации общественных пространств позволит более рационально планировать и распределять ресурсы города, что способствует улучшению устойчивости и безопасности городской среды. Таким образом, формирование единого каркаса общественных пространств может сделать город более удобным, безопасным и экологичным, что положительно скажется на качестве жизни горожан.

Единый архитектурный каркас общественных пространств определенно должен сформировать живую и динамичную ткань города, где каждый элемент выполняет свою уникальную роль в общественной жизни социума, способствуя укреплению и развитию городской идентичности.

Вклад авторов

Кайдаров А.Ш. – формирование идеи, разработка концепции и направление работы, анализ собранного материала и моделирование, подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей рукописи.

Карабаев Г.А. – сбор материалов, определение и формулировка основной цели и задач исследования, анализ и интерпретация полученных данных, составление чернового варианта рукописи, критическая оценка интеллектуального содержания и утверждение окончательного варианта.

Список литературы

1. Купчикова Н.В. Каркас города: основополагающие принципы территориально-пространственного развития современного города // Перспективы развития строительного комплекса: материалы IX международной научно-практической конференции. – Астрахань, 2015. – С. 254-257.
2. Виншу И.А. Архитектурно-планировочная организация сельских населенных пунктов: учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 1986. – 279 с., ил.
3. Единый каркас общественных пространств и создание урболокальностей. – [Электрон. ресурс] - URL: <https://ssau.ru/news/19359-edinyu-karkas-obshchestvennykh-prostranstv-i-sozdanie-urbolokalnostey>
4. Рязанов В.С., Клокова Т.П. Планировка и застройка сельских населенных мест: рекомендации по проектированию. – М.: Стройиздат, 1971. – 230 с.
5. Исследовательский доклад по общественным пространствам // Хабитат –III. Конференция Организации Объединенных Наций по жилью и устройчивому городскому развитию. – Нью-Йорк, 2015. – С. 1-13.
6. Andreina Maahsen-Milan, Luigi Oliva. The Place and the City: Trends in the Construction of the Public Space // Civil Engineering and Architecture 2(2): 82-91, 2014. Scopus. <https://doi.org/10.13189/cea.2014.020203>
7. Yuanduo Chen, Jingkun Xu, Huiwen Xiang, Zongsheng Huang, Zhixin Lin, Shaowei Lu. Construction of a public space network connectivity and vitality optimization system in historical districts of southwestern China: Guiyang case study // Ain Shams Engineering Journal, Volume 16, Issue 3, 2025, Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2025.103304>
8. Электронный справочник с картами городов. – [Электрон. ресурс] - URL: <https://2gis.kz/>.
9. Моор В.К., Ерышева Е.А. Современные тенденции и опыт создания эффективной системы общественных пространств города // Вестник Инженерной школы ДВФУ. – Владивосток, 2015. №3(24). – С. 42-53.
10. Потаев Г.А. Открытые городские пространства: новые художественные средства формирования // Архитектура и строительство Беларуси, – 2016. № 4. – С. 28-33.
11. Чуй Я.В. Формирование системы общественных пространств Красноярск // Молодежь и наука: сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г.Красноярск, СФУ. – Красноярск, 2013. – [Электрон. ресурс] - URL: <https://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/section039.html>

А.Ш. Кайдаров, Г.А. Карабаев

С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан

Астана қаласында қоғамдық кеңістіктердің бірыңғай қаңқасын қалыптастыру туралы мәселе

Аңдатпа. Қазіргі кезеңдегі қоғамдық кеңістіктер әлеуметтік белсенділік пен халықты мәдени байытудың негізгі тораптары болып табылады. Жаһандану мен урбанизация жағдайында мұндай қалалық тораптар қала тұрғындарының әлеуметтік, мәдени және әлеуметтік сәйкестігін қалыптастырудың маңызды элементіне айналды. Бүгінгі таңда қоғамдық кеңістіктер тек қалалық құрылымдағы орын ғана емес, сонымен бірге қоғамдық бірлікті нығайту мақсатында қаланың әлеуметтік маңызды орындарының біртұтас шеңберін құрайтын бірнеше тораптық орталықтардың желісі болып табылады.

Осы зерттеу жұмыстың мақсаты оқшауланған қалалық әлеуметтік тораптардан қалыптасатын Астана қаласының мысалында қоғамдық кеңістіктердің бірыңғай қаңқасын анықтау болып табылады.

Зерттеу қалалық құрылымда қоғамдық кеңістіктерді орналастырудың қалыптасқан жағдайын талдауға, Астана қаласының қала құрылысы жағдайын заттай зерттеуге, сәулет және қала құрылысы саласындағы нормативтік-реттеуші құжаттаманы зерделеу негізінде, сондай-ақ компьютерлік бағдарламалар арқылы қоғамдық кеңістіктердің бірыңғай қаңқасын қайта құру негізінде (сызықтық-түйіндік қағиданың негізінде қоғамдық кеңістіктердің бірыңғай қаңқасы).

Зерттеу нәтижелері қаланың қоғамдық кеңістіктерінің бірыңғай қаңқасын қалыптастыру күрделі, көп қырлы жүйе болып табылатын көрсетті, ол елді мекеннің даму болашағында қаланың бірегей сәулеттік-көркемдік бейнесін анықтай алады.

Түйін сөздер: қалалық торап, қоғамдық кеңістік, сәулет, композиция, жоспарлық шешім, орталық, қала құрылысы.

A.S. Kaidarov, G.A. Karabayev

S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan

On the issue of forming a single framework of public spaces in Astana

Abstract. Public spaces at the present stage are key nodes of social activity and cultural enrichment of the population. In the context of globalization and urbanization, such urban hubs have become an important element for shaping the social, cultural and social identity of citizens. Today, public spaces are not just a place in the urban structure, but a network of several hub centers that form a single framework of socially significant places in the city with the aim of strengthening social unity.

The purpose of this study is to identify a single framework of public spaces using the example of the city of Astana, which is formed from isolated urban social nodes.

The study is based on an analysis of the current situation of public spaces in an urban structure, on a full-scale study of the urban situation in Astana, on an analysis of the principles of architectural

and planning organization of public spaces, and also on the basis of recreating a single framework of public spaces through computer programs (a single framework of public spaces based on the linear-nodal principle).

The results of the study showed that the formation of a single framework of public spaces in the city is a complex, multifaceted system that, in the perspective of the development of a settlement, can determine the unique architectural and artistic image of the city.

Keywords: urban hub, public space, architecture, composition, planning solution, center, urban planning.

References

1. Kupchikova N.V. Karkas goroda: osnovopolagajushhie principy territorial'no-prostranstvennogo razvitija sovremennogo goroda, [The framework of the city: the fundamental principles of territorial and spatial development of a modern city]. (Prospects for the development of the construction complex "Materials of the IX International Scientific and Practical Conference". Astrakhan, 2015. pp. 254-257.) [in Russian].
2. Vinshu I.A. Arhitekturno-planirovochnaja organizacija sel'skih naselennykh punktov: Uchebnik dlja vuzov, [Architectural and planning organization of rural settlements: A textbook for universities]. (Moscow: Stroyizdat, 1986. 279 p., ill.) [in Russian].
3. Edinyj karkas obshchestvennykh prostranstv i sozdanie urbolokal'nostej, [A single framework of public spaces and the creation of urban localities]. Available at: <https://ssau.ru/news/19359-edinyj-karkas-obshchestvennykh-prostranstv-i-sozdanie-urbolokalnostej>
4. Rjazanov V.S., Klokova T.P. Planirovka i zastrojka sel'skih naselennykh mest: Rekomendacii po proektirovaniju, [Planning and building of rural settlements: Design recommendations]. (Moscow: Stroyizdat, 1971. 230 p.) [in Russian].
5. Issledovatel'skij doklad po obshchestvennym prostranstvam, [Research report on public spaces]. (Habitat –III. United Nations Conference on Housing and Sustainable Urban Development. – New York, 2015. – pp. 1-13.) [in Russian].
6. Andreina Maahsen-Milan, Luigi Oliva. The Place and the City: Trends in the Construction of the Public Space // Civil Engineering and Architecture 2(2): 82-91, 2014. Scopus. <https://doi.org/10.13189/cea.2014.020203>
7. Yuanduo Chen, Jingkun Xu, Huiwen Xiang, Zongsheng Huang, Zhixin Lin, Shaowei Lu. Construction of a public space network connectivity and vitality optimization system in historical districts of southwestern China: Guiyang case study // Ain Shams Engineering Journal, Volume 16, Issue 3, 2025, Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2025.103304>
8. Jelektronnyj spravocnik s kartami gorodov, [Electronic directory with city maps]. Available at: <https://2gis.kz/>.
9. Moor V.K., Erysheva E.A. Sovremennye tendencii i opyt sozdanija jeffektivnoj sistemy obshchestvennykh prostranstv goroda, [Current trends and experience in creating an effective system of public spaces in the city]. (Bulletin of the FEFU School of Engineering. – Vladivostok, 2015. №3(24). – Pp. 42-53.) [in Russian].
10. Potaev G.A. Otkrytye gorodskie prostranstva: novye hudozhestvennye sredstva formirovaniya, [Open urban spaces: new artistic means of formation]. (Architecture and Construction of Belarus, 2016, No. 4, pp. 28-33.) [in Russian].

11. Chuj Ja.V. Formirovaniya sistemy obshhestvenny prostranstv Krasnojarska, [Formation of a system of public spaces in Krasnoyarsk]. (Youth and Science: collection of materials of the IX All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, postgraduates and Young scientists with international participation, dedicated to the 385th anniversary of the founding of Krasnoyarsk, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 2013.) Available at: <https://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/section039.html>

Сведения об авторах:

Кайдаров А.Ш. – «Сәулет» білім беру бағдарламасы бойынша PhD докторанты, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Жеңіс даңғылы, 62, 010011, Астана, Қазақстан

Карабаев Г.А. – хат-хабар авторы, PhD докторы, қауымдастырылған профессордың м.а., С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Жеңіс даңғылы, 62, 010011, Астана, Қазақстан

Кайдаров А.Ш. – докторант PhD по образовательной программе «Архитектура», Казахский агротехнический исследовательский университет им.С.Сейфуллина, проспект Победы, 62, 010011, Астана, Казахстан.

Карабаев Г.А. – автор для корреспонденции, PhD, и.о. ассоциированного профессора, Казахский агротехнический исследовательский университет им.С.Сейфуллина, проспект Победы, 62, 010011, Астана, Казахстан.

Kaidarov A.S. – PhD student in the educational program «Architecture», S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Zhenis avenue, 62, 010011, Astana, Kazakhstan

Karabayev G.A. – corresponding author, PhD, Acting Associate Professor, S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Zhenis avenue, 62, 010011, 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>)



ХҒТАР 73.41.39

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-150-1-265-277>

Шолу мақаласы

Гидравликалық цилиндрлердің негізгі ақауларын талдау

Д.К. Кушалиев^{ID}, С.О. Төребекова*^{ID}, Е.Т. Қалшора^{ID}, Р.Б. Қорабай^{ID}

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

(*E-mail: torebekova-s@mail.ru)

Аңдатпа. Гидравликалық цилиндрлер өнеркәсіптің әртүрлі салаларында және құрылыста кеңінен қолданылатын гидравликалық жүйелердің ажырамас бөлігі болып табылады. Алайда, олар уақыт өте келе тозуға және ағып кетуге бейім, бұл олардың өнімділігінің төмендеуіне және жабдықтың тоқтап қалуына әкелуі мүмкін.

Мақалада негізгі назар екі негізгі топқа бөлінген гидравликалық цилиндрлердің ақауларын жіктеуге аударылады: тозу және механикалық әсерге байланысты ақаулар. Бірінші топ цилиндрдің әртүрлі аймақтарынан гидравликалық сұйықтықтың ағып кетуін қамтиды, ал екіншісі өзектің, корпустың, құлақтардың, поршеньдердің және бекіткіштердің механикалық зақымдануын қамтиды.

Мақалада көрсетілген статистикалық деректер гидравликалық цилиндрлердің істен шығуының нәтижесінде кәсіпорынның қаншалықты пайда жоғалтатынын көрсетеді және бұл мәліметтер өз кезегінде гидравликалық цилиндрдің жұмысқа қабілетті жағдайда болуы кәсіпорын үшін қаншалықты маңызды фактор екенін айқындай түседі.

Тығыздағыштарды ауыстыруды, өзек пен корпусты қалпына келтіруді, сондай-ақ істен шығудың алдын алу шараларын қоса алғанда, жөндеудің тиімді әдістері анықталды. Уақытылы техникалық қызмет көрсету және заманауи жөндеу технологияларын қолдану жабдықтың сенімділігін арттыруға, тоқтап қалу санын азайтуға және өндірістік процестердің тиімділігін арттыруға мүмкіндік беретіні анықталды.

Түйін сөздер: Гидравликалық цилиндр, ақаулар, сұйықтықтың ағуы, тозу, жөндеу, тығыздағыш элементтер, техникалық қызмет көрсету, тоқтап қалу, өндіріс тиімділігі.

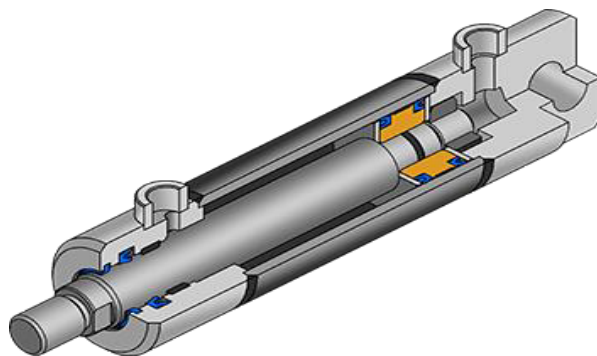
Түсті 18.02.2025. Жөнделді 18.02.2025. Мақұлданды 27.03.2025. Онлайн қолжетімді 31.03.2025

*Хат-хабар үшін автор

Кіріспе

Гидравликалық цилиндрлер – бұл әртүрлі өндірістік және құрылыс салаларында қолданылатын гидравликалық жүйелердің маңызды компоненттері. Алайда, уақыт өте келе мұндай гидравликалық цилиндрлер тозуы және ағып кетуі мүмкін, бұл өз кезегінде олардың өнімділігінің төмендеуіне және жабдықтың күтпеген мезетте тоқтап қалуына әкелуі мүмкін [1]. Сондықтан бұл мәселелердің себептерін түсіну және олардың алдын алу жолдарын білу маңызды.

Гидравликалық цилиндр – бұл көлемді гидравликалық қозғалтқыш, оның жетекші буыны корпусқа қатысты қайтымды – айналмалы қозғалыс жасайды. Гидроагрегаттың конструкциясы қарапайым және жинақы, бұл оны әртүрлі жабдықтар мен техникаларға орнатуға мүмкіндік береді.



1-сурет. Гидравликалық цилиндр

Құрылыс және тау-кен кәсіпорындарының өндірістік қуаттылығының өсуі заманауи гидравликалық жүйемен жабдықталған арнайы техникаларды қолдануды талап етеді. Бұл жүйелердің істен шығуы арнайы техникалардың тоқтап қалуына, жұмыс қабілеттігін жоғалтуына әкеліп соғады.

Жоғарыда көрсетілген мәселелерге байланысты, арнайы техникалардың гидравликалық жүйелерін зерттеу мәселесі өзекті болып табылады. Бұл жұмыс гидравликалық жетектің және поршеньдік жүйенің ақаулығына байланысты істен шығу себептерін қарастырады.

Зерттеудің мақсаты гидравликалық жүйенің істен шығуын анықтау және оларды жою әдістері болып табылады.

Әдіснама

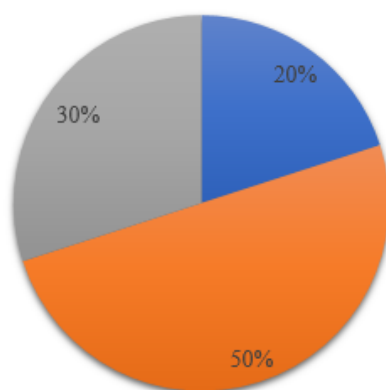
Қойылған міндеттерге байланысты гидравликалық тораптың негізгі ақауларын анықтау қажет болды.

Бір өзекті гидравликалық цилиндрдегі негізгі ақаулар:

- цилиндр басының қақпағының астынан гидравликалық сұйықтықтың ағуы;
- өзек қуысынан гидравликалық сұйықтықтың ағуы;

- поршень қуысынан гидравликалық сұйықтықтың ағуы;
- өзектің зақымдануы;
- цилиндр корпусының (гильзаның) зақымдануы;
- цилиндрдің алдыңғы немесе артқы құлағының зақымдануы;
- цилиндр поршенінің зақымдануы;
- цилиндр қақпағының зақымдануы;
- цилиндрдің түбінің (артқы қақпағының) зақымдануы.

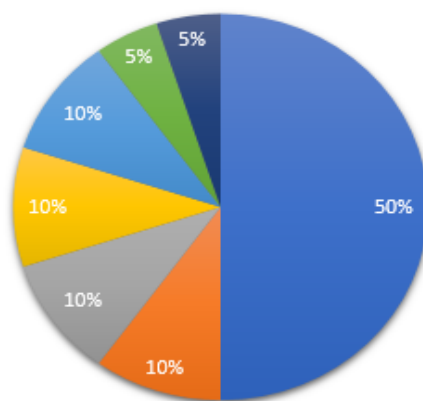
Тозу салдарынан орын алатын ақаулардың пайызы, %



- Цилиндр басының қақпағының астынан гидравликалық сұйықтықтың ағуы
- Өзек қуысынан гидравликалық сұйықтықтың ағуы
- Поршень қуысынан гидравликалық сұйықтықтың ағуы

1-диаграмма. Тозу салдарынан орын алатын ақаулар

Механикалық әсерлерге байланысты орын алатын зақымданулардың мөлшері



- Өзек
- Цилиндр құлағы
- Цилиндр қақпағы
- Цилиндрдің сыртқы бекіткіштері
- Цилиндр гильзасы
- Цилиндр поршені
- Цилиндр түбі

2-диаграмма. Механикалық әсерлердің салдарынан болатын зақымданулар

Алғашқы үш істен шығу ең көп таралған және гидравликалық цилиндрдегі тығыздағыш элементтердің тозуына немесе зақымдалуына байланысты. Қақпақ пен өзек қуысының астынан сұйықтықтың ағуы 2-суретте көрсетілгендей цилиндрдегі гидравликалық сұйықтықтың дақтарымен бірден анықталады.



2-сурет. Цилиндр басының қақпағының астынан гидравликалық сұйықтықтың ағуы

Әдебиеттерге шолу және “Силмастер” ЖШС кәсіпорнындағы әртүрлі машиналардың гидравликалық цилиндрінің жұмысымен танысу, сұйықтықтың қақпақтың астынан ағып кетуін жөндеу тұрғысынан ең қарапайым екенін анықтауға мүмкіндік берді. Ақаулықтарды жою процесі келесідей:

- цилиндрдің қақпағы (басы) бұралып, тығыздағыш элемент ауыстырылады – әдетте дөңгелек қималы резеңке сақина PTFE материалының тірегімен бірге (фторопласт) [7].
- немесе резеңке сақинаның орнына күрделі қима профилі бар полиуретанды сақина (PU, HPU, C-HPU) орнатылады [7].

Қақпақтың астынан сұйықтықтың ағып кетуінің себебі, резеңке немесе полиуретанды сақинаның тозуымен, сақина материалының сапасыздығымен, серпімділік қасиеттерін тез жоғалтуымен байланысты екендігі анықталды.

Сұйықтықтың ағып кетуіне ықпал етеді, сонымен қатар сақинаның ішкі және көлденең қимасының диаметрі бойынша тығыздағыш сақинаны дұрыс таңдамау. Кіші және үлкен өлшемдер тығыздау қызметін орындамайды. Гидравликалық цилиндрді жинау кезінде сақинаның зақымдану қаупі де бар.

Сондай-ақ, өзек қуысынан сұйықтықтың ағып кетуін жою үшін:

- гидравликалық цилиндрді толығымен бөлшектеуді қажет етеді (цилиндр қақпағын, цилиндр өзегін поршень мен баспен бірге ойып алу, поршень бұрандасын бұрау);
- немесе поршеньнің өзі, содан құлағы, цилиндр басындағы тығыздағыш элементтерді ауыстыру, цилиндр поршеніндегі тығыздағыштар, бұл кейіннен поршеньдік тығыздағыштарды ауыстыру үшін цилиндрді бөлшектемеуге мүмкіндік береді.

Әсіресе цилиндрдегі тазалағышты ауыстыру қажеттілігіне назар аударамыз. Көбінесе цилиндр иелері оны ауыстыруға қаражат үнемдейді, нәтижесінде бастың ішінде тот пайда болады, цилиндрге кір түседі, бұл бастың тығыздағыштарының, цилиндр өзегінің зақымдалуына ықпал етеді.

Мұндай жағдайларда тығыздағыштарды дереу ауыстыру қажет, өйткені цилиндр өзегінің тұмандануы байқалады – бұл өзек қуысының тығыздағыштарының зақымдануының алғашқы белгісі, бұл белгілер цилиндр жұмысының нашарлауына әкеледі. Гидравликалық сұйықтықтың ағып кетуінің жоғарылауынан басқа, балшық пен абразивті бөлшектердің цилиндрдің өзек қуысына енуінен, цилиндр өзегінің зақымдану қаупі бар.

Поршень қуысында сұйықтықтың ағып кету процесін көрсететін бірқатар белгілер бар – бұл өзектің құлауы деп аталады – жүктеме кезінде немесе жүктемесіз өзектің бақыланбайтын қозғалысы, гидравликалық цилиндрдегі шудың жоғарылауы, цилиндр корпусының қызуы.

Поршеньдегі тығыздағыштарды өзгерту өте оңай, поршеньді бұрап, поршень ішіндегі тығыздағыш сақинаны ауыстырған жөн, бұл поршеннің ішкі беті арқылы сұйықтықтың ағып кетуіне жол бермейді.

Сондай-ақ, гидравликалық цилиндрді жөндеу цилиндр өзегінің зақымдалуына байланысты жүзеге асырылатыны анықталды.

Өзек айтарлықтай радиалды жүктемелермен, хром бетінің ұсақтарымен, тау жыныстарының құлауымен, өзек қуысы тастардың, абразивті элементтердің түсуімен бүгілуі мүмкін, бұл бүкіл цилиндр бойына сызаттардың түсуіне әкеледі, көбінесе ток беру желілері соғылған кезде өзек зақымдалады (3-сурет). Егер өзек бүгілсе, онда поршень мен корпустың зақымдану ықтималдығы жоғары (4,5-сурет).

Ұзартылған гидравликалық цилиндрлерде ең жоғары жүктемелер пайда болған кезде ауыр жүктеме поршеньге әсер етеді және нәтижесінде гидравликалық цилиндр өзегі мен поршень бұрандасының зақымдалуына алып келеді.



3-сурет. Өзектің зақымдануы

Өзектің ұсақ зақымдануы жылтыратылады, осылайша тығыздағыш элементтерді зақымдауы мүмкін сызаттардың өткір жиектері тегістеледі. Беттің ұсақтары, шұңқырлары экономикалық орындылықты ескере отырып, әр түрлі балқыту, бүрку технологияларын қолдану арқылы жойылады. Өзектердің кіші диаметрлері 80 мм-ден аз және қысқа ұзындықта болса, өзек толығымен жаңасына өзгереді. Осы мақсатта картон немесе пластикалық түтіктерде жеткізілетін дайын хром өзектері қолданылады. Құлақ әдетте өзекке дәнекерленеді [5].



4-сурет. Гильзаның зақымдануы



5-сурет. Поршеньнің зақымдануы

– Цилиндрдің гильзасы (корпусы) поршеньдік тығыздағыштар бұзылған кезде зақымдалады, бұл металл мен металлдың өзара әрекеттесуіне, сәйкесінше поршень мен

цилиндр корпусының өзара зақымдалуына алып келеді, сол мезетте поршень жұмыс істеп тұрған цилиндрдегі өзектен еріксіз босатылады. Поршеньнің дұрыс орнатылмаған әр түрлі бөліктерінде гильзаны зақымдайды (мысалы бұранданың механикалық бекіткішінің (гужон), сұйықтық ағынының ауысу клапандарының дұрыс бекітілмеуі және т.б.) Ойықтар, соққылар түріндегі сыртқы әсерлер де цилиндр корпусының зақымдалуына алып келеді [6].

Гильза поршень қуысында артық қысым түріндегі жүктемелердің әсерінен бұзылуға бейім. Цилиндрдің гильзасы ішкі беті өңделген сапалы дайын болат құбырлардың көмегімен өзгереді.



6-сурет. Цилиндр қақпағының зақымдануы

Нәтижелер мен талқылау

Тозу туралы статистикалық деректерді шолу, гидравликалық цилиндр мен поршеньдік жүйені пайдалану кезінде орын алатын ақауларды жүйелеуге мүмкіндік берді, кесте 1.

1-кесте

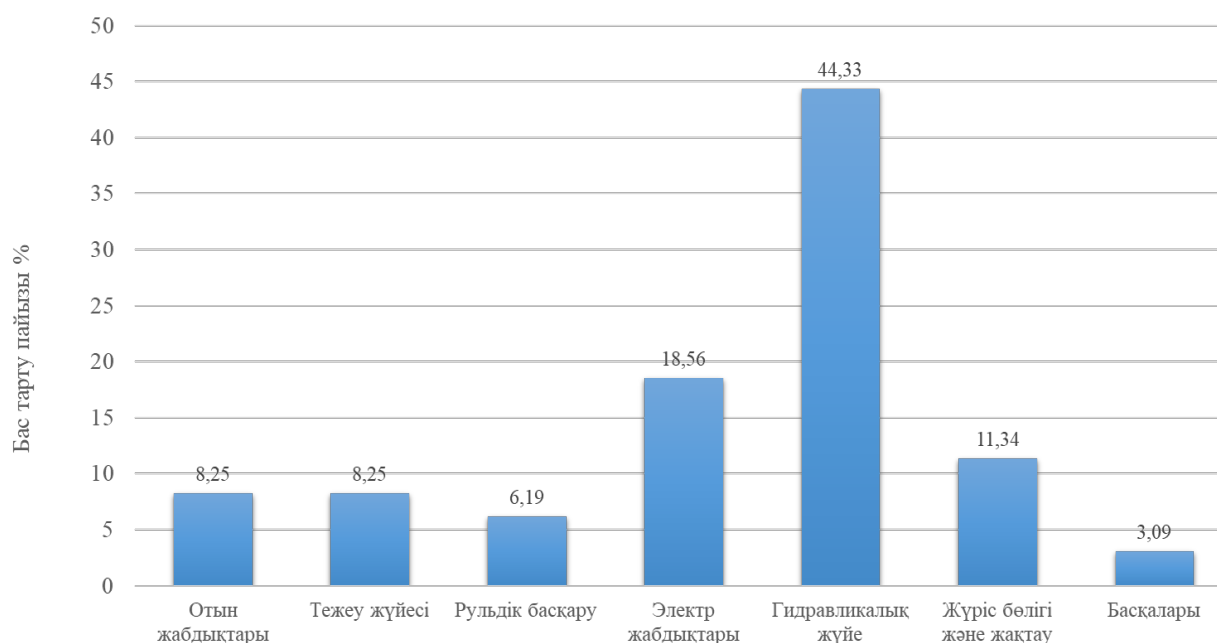
№	Ақаулықтың аталуы	Ағып кету себебі	Ағып кетуді жою	Ұсынылатын жөндеу
1	Цилиндр қақпағының астынан сұйықтықтың ауытқуы	Резеңке немесе полиуретанды тығыздағыш сақинаның тозуы, сақина материалының сапасыздығы	Тығыздағыш сақинаны резеңке / полиуретанды сақинаға ауыстыру, өлшемдердің сәйкестігін тексеру	Сапалы материалдарды пайдалану, сақинаның зақымдануын болдырмау үшін мұқият құрастыру
2	Өзек қуысынан гидравликалық сұйықтықтың ағуы	Бастың тығыздағыш элементтерінің тозуы, тозаңқаптың болмауы немесе зақымдануы	Цилиндрді бөлшектеу, бастағы тығыздағыш элементтерді ауыстыру	Тозаңқапты міндетті түрде ауыстыру, өзектің жай-күйін бақылау

3	Поршень қуысынан гидравликалық сұйықтықтың ағуы	Поршеньді тығыздау элементтерінің тозуы, өзектің бақыланбайтын қозғалысы	Поршеньді тығыздау элементтерін ауыстыру	Поршеньді бұрап алу, поршень ішіндегі сақинаны ауыстыру
4	Өзектің зақымдануы	Радиалды жүктемелер, абразивті бөлшектердің түсуі, механикалық соққылар, коррозия	Ұсақ зақымдарды жылтырату, бүрку немесе балқыту арқылы қалпына келтіру, елеулі ақаулар орын алған жағдайда ауыстыру	Хромдалған өзектерді пайдалану, токарлық өңдеу
5	Цилиндр гильзасының (корпусының) зақымдануы	Поршеньді тығыздағыштардың бұзылуы, механикалық әсер, артық қысым	Цилиндр корпусын ауыстыру	Хонингтелген немесе илектелген құбырларды пайдалану, Дәнекерлеу сапасын бақылау
6	Цилиндрдің алдыңғы немесе артқы құлағының зақымдануы	Механикалық жүктемелер, металдың шаршауы, сапасыз дәнекерлеу	Құлақты ауыстыру немесе қалпына келтіру	Құрылымды нығайту, дәнекерлеуді бақылау
7	Цилиндр поршенінің зақымдануы	Дұрыс емес құрастыру, поршеньді бұрап алу, механикалық жүктемелер	Поршеньді ауыстыру, зақымдануды жою	Поршеньді бекітуді бақылау, механикалық бұранда бекіткіштерін қолдану
8	Цилиндр қақпағының зақымдануы	Бұранданың тозуы, механикалық соққылар, коррозия	Қақпақты ауыстыру, бұранданы қалпына келтіру	Жоғары сапалы тығыздағыш элементтерді қолдану, коррозиядан қорғау
9	Цилиндрдің түбіне зақым келтіру	Артық қысым, механикалық соққылар	Түбін ауыстыру, дәнекерленген жіктерді қалпына келтіру	Гидрожүйедегі қысымды бақылау, тығыздағыштардың күйін тексеру

Анықталған ақаулар, әдетте, арнайы машиналардың істен шығуына алып келеді.

Осыған байланысты зерттеулер “СИЛМАСТЕР” ЖШС базасында жүргізілді. Зерттеу нәтижесінде арнайы машиналардың істен шығуының ең көп бөлігі гидравликалық жетекке тиесілі екені анықталды(сурет 7).

Жүйелер бойынша бас тарту пайызы



7-сурет. Бас тартуларды бөлу диаграммасы

Құрылыс және тау – кен жұмыстарын жүргізу кезінде арнайы машиналар күрделі жағдайларда жұмыс істейді, бұл сөзсіз ақаулардың көбеюіне әкеледі.

Тиісінше, жөндеуге байланысты жабдықтың тоқтап қалуы кәсіпорынның айтарлықтай шығынға ұшырауына алып келеді.

“Тау-кен технологиялары” ЖШС кәсіпорнының деректері негізінде статистиканы талдау, гидравликалық цилиндрлердің істен шығуы кәсіпорынның экономикалық жағдайына қаншалықты әсер ететінін көрсетті. Бас тарту саны – 10. Бас тарту саны тым көп болмаса да, олардың салдары өте ауыр. Жалпы тоқтау қалу уақыты 835 сағатты құрайды. Бұл 34 тәуліктен астам бос уақыт, бұл өндіріс процесіне айтарлықтай әсер етеді. Қаржылық шығындар: гидравликалық цилиндрлерді жөндеу – 8 850 300 тг, гидравликалық цилиндрлерді тасымалдау – 84 000 тг, жоғалған пайда – 283 142 366 тг, өндірістің жоғалған көлемі – 361 167,5 м3. Осылайша, басты мәселе – бас тартудың өзі емес, олардың салдары: ұзақ уақыт тоқтап қалу, пайда жоғалту және өндіріс көлемінің төмендеуі.

Қорытынды

Гидравликалық цилиндрлер мен поршеньдік жүйелердің ақауларын уақытылы анықтау және оларды дұрыс жою жұмыс кезінде ақаулардың азаюына алып келетіні анықталды.

Автокөліктердің істен шығуын зерттеу нәтижесінде қондырмалардың гидравликалық жетегіне ең көп түсетіні анықталды (44,3%).

Заманауи әдістер мен жабдықтардың көмегімен ақауларды жою өндіріс тиімділігі мен пайдасының артуына алып келеді.

Авторлардың қосқан үлесі

Д.К.Кушалиев, С.О. Төребекова – тұжырымдама, әдістеме, мәліметтер жинау.
Е.Т. Калшора, Р.Б. Корабай – талдау, ресурстар, интерпретация.

Әдебиеттер тізімі

1. 2024. Анализ причин износа и утечек в гидроцилиндрах – как предотвратить подобные проблемы/ <https://psm-st.com/blog/analiz-prichin-iznosa-i-utechek-v-gidrocilindrah-kak-predotvratiti-podobnyye-problemy/>
2. Ярошук И.В. Гидроцилиндры. Типы и схемы. Устройство и принцип работы/https://rggidro.ru/reviews/stati_i_obzory/gidrotsilindry_tipy_i_skhemy_ustroystvo_i_printsip_raboty/
3. Gianni Nicoletto, Tito Marin Failure of a heavy-duty hydraulic cylinder and its fatigue re-design Engineering Failure Analysis Volume 18, Issue 3, April 2011, Pages 1030-1036
4. Vignesh Shanbhag, Thomas J. J. Meyer, Leo W. Caspers, Rune Schlanbusch Failure Monitoring and Predictive Maintenance of Hydraulic Cylinder - State-of-the-Art Review January 2021IEEE/ASME Transactions on Mechatronics PP(99):1-1 DOI:10.1109/TMECH.2021.3053173
5. Shunwei Ding, Guang Li, Yu Shi, Jinyuan Ma, Mingqian Gao Failure analysis of a loader hydraulic cylinder and its end cap structure improvement Engineering Failure Analysis Volume 153, November 2023, 107597
6. Никитин О.Ф. Рабочие жидкости и уплотнительные устройства гидроприводов: учеб, пособие. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. - 284 с
7. Гидравлика : учебник и практикум для СПО / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов, А. Г. Коваленко, И.В. Кудинов.; под ред. В. А. Кудинова. - 4-е изд., пер. и доп. - М.: Юрайт, 2018. —386 с.
8. Шаихов Р.Ф. Определение остаточного ресурса деталей навесного оборудования специальных автомобилей/ Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. Изд-во ПНИПУ, 2019. №3. - с. 83-88
9. Шаихов Р.Ф. Особенности эксплуатации автомобилей с турбокомпрессорами в условиях карьеров/ Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. Изд-во ПНИПУ, 2019. №2. - с. 73-79
10. Мальцев Д.В. Анализ причин малой наработки на отказ турбокомпрессоров при эксплуатации в условиях карьеров//Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика/Воронеж.гос. лесотехн. ун-т им. Г.Ф. Морозова. -2016. -Т. 4, № 5-4 (25-4). -С. 267-271

Д.К.Кушалиев, С.О. Төребекова, Е.Т. Калшора, Р.Б.Корабай

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

Анализ основных неисправностей гидравлических цилиндров

Аннотация. Гидравлические цилиндры являются неотъемлемой частью гидравлических систем, широко используемых в различных отраслях промышленности и строительстве.

Однако со временем они подвержены износу и утечкам, что может привести к снижению их производительности и простоям оборудования.

В статье основное внимание уделяется классификации неисправностей гидравлических цилиндров, разделенных на две основные группы: дефекты вызванные износом и возникающие под механическим воздействием. Первая группа включает утечки гидравлической жидкости из различных зон цилиндра, а вторая – механические повреждения штока, корпуса, проушин, поршней и крепежных элементов.

Приведенные в статье статистические данные демонстрируют, какие финансовые потери несут предприятия в результате выхода из строя гидравлических цилиндров, и, таким образом, подчеркивают важность поддержания их работоспособности для эффективности производства.

Выделены эффективные методы ремонта, включая замену уплотнителей, восстановление штока и корпуса, а также меры по предотвращению неисправностей. Установлено, что своевременное техническое обслуживание и применение современных технологий ремонта позволяют повысить надежность оборудования, сократить число простоев и повысить эффективность производственных процессов.

Ключевые слова: гидравлический цилиндр, неисправности, утечка жидкости, износ, ремонт, уплотнительные элементы, техническое обслуживание, простой, эффективность производства.

D.K.Kushaliyev, S.O.Torebekova, E.T. Kalshora, R.B.Korabay
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Analysis of the main malfunctions of hydraulic cylinders

Abstract. Hydraulic cylinders are an integral part of hydraulic systems widely used in various industries and construction. However, they are prone to wear and leaks over time, which can lead to reduced productivity and equipment downtime.

The article focuses on the classification of hydraulic cylinder malfunctions, divided into two main groups: wear-related defects and mechanical defects. The first group includes leaks of hydraulic fluid from various areas of the cylinder, and the second group includes mechanical damage to the stem, housing, eyelets, pistons, and fasteners.

The statistical data presented in the article demonstrate the financial losses incurred by enterprises as a result of the failure of hydraulic cylinders, and thus emphasize the importance of maintaining their operability for production efficiency.

Effective repair methods are highlighted, including replacement of seals, restoration of the stem and housing, as well as measures to prevent malfunctions. It has been established that timely maintenance and the use of modern repair technologies can improve the reliability of equipment, reduce downtime and increase the efficiency of production processes.

Keywords: hydraulic cylinder, malfunctions, fluid leakage, wear, repair, sealing elements, maintenance, downtime, production efficiency.

References

1. 2024. Analysis of the causes of wear and leaks in hydraulic cylinders – how to prevent such problems / <https://psm-st.com/blog/analiz-prichin-iznosa-i-utechek-v-gidrocilindrah-kak-predotvratit-podobnye-problemy/>
2. Yaroshuk I.V. Hydraulic cylinders. Types and schemes. Device and operating principle/https://rggidro.ru/reviews/stati_i_obzory/gidrotsilindry_tipy_i_skhemy_ustroystvo_i_printsip_raboty/
3. Gianni Nicoletto, Tito Marin Failure of a heavy-duty hydraulic cylinder and its fatigue re-design Engineering Failure Analysis Volume 18, Issue 3, April 2011, Pages 1030-1036
4. Vignesh Shanbhag, Thomas J.J. Meyer, Leo W. Caspers, Rune Schlanbusch Failure Monitoring and Predictive Maintenance of Hydraulic Cylinder - State-of-the-Art Review January 2021IEEE/ASME Transactions on Mechatronics PP(99):1-1 DOI:10.1109/TMECH.2021.3053173
5. Shunwei Ding, Guang Li, Yu Shi, Jinyuan Ma, Mingqian Gao Failure analysis of a loader hydraulic cylinder and its end cap structure improvement Engineering Failure Analysis Volume 153, November 2023, 107597
6. Nikitin O.F. Working fluids and sealing devices of hydraulic drives: textbook. Moscow: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2013. 284 p.
7. Hydraulics : textbook and practical course for SVE/ V. A. Kudinov, E. M. Kartashov, A. G. Kovalenko, I. V. Kudinov; edited by V. A. Kudinov. - 4th ed., translated and supplemented - Moscow: Yurait, 2018. -386 p.
8. Shaikhov R.F. Determination of the residual life of special vehicle attachments/ Transport. Transport facilities. Ecology. PNRPU Publishing House, 2019, No. 3, pp. 83-88
9. Shaikhov R.F. Features of operation of cars with turbochargers in quarry conditions/ Transport. Transport facilities. Ecology. PNRPU Publishing House, 2019, No. 2, pp. 73-79
10. Maltsev D.V. Analysis of the causes of low operating time for turbocharger failure during operation in quarries//Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice/Voronezh. State Forestry Engineering G.F. Morozov University. -2016. -Vol. 4, No. 5-4 (25-4). -pp. 267-271

Авторлар туралы мәлімет:

Кушалиев Д.К. – т.ғ.к., доцент м.а., «Көлік инженериясы» кафедрасының доцент м.а., «Көлік – энергетика» факультеті, Л.Н. Гумилева атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Төребекова С.О. – хат-хабар авторы, «Көлік инженериясы» кафедрасының докторанты, «Көлік-энергетика» факультеті, Л.Н. Гумилева атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Қалшора Е.Т. – «Көлік инженериясы» кафедрасының докторанты, «Көлік-энергетика» факультеті, Л.Н. Гумилева атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Қорабай Р.Б. – «Көлік инженериясы» кафедрасының докторанты, «Көлік-энергетика» факультеті, Л.Н. Гумилева атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Сведения об авторах:

Кушалиев Д.К. – к.т.н., и.о. доцента, и.о. доцента кафедры «Транспортная инженерия», «Транспортно-энергетический» факультет, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Торбекова С.О. – Докторант кафедры «Транспортная инженерия», «Транспортно-энергетический» факультет, Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Қалшора Е.Т. – Докторант кафедры «Транспортная инженерия», «Транспортно-энергетический» факультет, Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Қорабай Р.Б. – Докторант кафедры «Транспортная инженерия», «Транспортно-энергетический» факультет, Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Information about authors:

Kushaliyev D.K. – Candidate of technical sciences, acting as assistant professor, Acting Associate Professor of the Department of «Transport Engineering», «Transport and Energy» faculty, L.N. Gumileva National University, Astana, Kazakhstan

Torebekova S.O. – PhD Student of the Department of Transport Engineering, Faculty of «Transport - Energy», L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Kalshora E.T. – PhD Student of the Department of Transport Engineering, Faculty of «Transport - Energy», L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Korabay R.B. – PhD 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/>).



ХҒТАР 73.29.01

Шолу мақала

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-150-1-278-285>

Жылжымалы құрам мен жолдың өзара әрекеттесуін зерттеу жұмыстары бойынша шолу жасау

Г.Н. Байгужина¹ , Н.С. Камзанов^{2*} , М.С.Нурғалиева³ , Ж.Н. Жакишева¹

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қаласы, Қазақстан

²Қ. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

³Азаматтық авиация академиясы

(E-mail: gul_8989@mail.ru)

Аңдатпа. Қазіргі кезде Қазақстан Республикасының экономикасы нарықтық жағдайларға бейімделген. Сондықтан біздің еліміздің экономикасының қазіргі заманғы даму кезеңі бірегей объектілердің құрылысымен қоса жүреді. Осыған мысал ретінде қазіргі заманғы теміржол жолдарының құрылысы, қаншама километрге созылып жатқан бірегей көпір құрылыстарын және т.б. алуға болады.

Әр түрлі салада және өнеркәсіптік объектілерде, құрлыс саласында және коммуналдық шаруашылықта күрделі табиғат-климаттық жағдайларда пайдаланылатын барынша кеңінен таралған жылжымалы құрам болып табылады.

Теміржол жолы мен жылжымалы құрам- бұл өзара әрекеттесетін және бір-біріне тәуелді біртұтас термодинамикалық жүйе. "Жылжымалы құрам - Теміржол жолы" жүйесіндегі динамикалық процестерді зерттеудің негізгі міндеті, осы жүйенің оңтайлы мәндерін анықтау болып табылады (габариттік өлшемдер, масса, қаттылық, тұтқыр үйкеліс коэффициенттері және т. б.), онда жылжымалы құрам мен жол құрылымдарының сенімділігі мен беріктігіне теріс әсер ететін тербелістер мен динамикалық күштер азаяды.

Түйін сөздер: жылжымалы құрам, теміржол көлігі, сенімділік, қаттылық, масса, тиімділік, пойыз.

Түсті 18.02.2025. Жөнделді 18.02.2025. Мақұлданды 13.03.2025. Онлайн қолжетімді 31.03.2025

*хат-хабар үшін автор

Кіріспе

Теміржол көлігі – әлемнің көлік инфрақұрылымын дамытудың басым бағыты. Қазіргі таңда Қазақстанда темір жол инфрақұрылымы объектілерінің жоғары физикалық тозуы, қолданыстағы технологиялық процестерді интеграциялаудың бірыңғай тәсілдерінің болмауы, сондай-ақ қала маңындағы темір жол көлігін дамытудың төмен деңгейі байқалады.

Елдің әлеуметтік-экономикалық дамуының маңызды құрамдас бөлігі көлік жүйесін жаңғырту, және, ең алдымен, экономиканың өсуі мен әлемдегі бәсекеге қабілеттілігі үшін қажетті оның инфрақұрылымдық объектілерін басқару болып табылады.

Тиімділікті арттыру теміржол көлігі қозғалыс жылдамдығын арттыруды және рұқсат етілген максималды осьтік жүктеме. Бұл ретте қауіпсіздікті қамтамасыз ету ғылыми-техникалық дамудың басым бағыты болып қала береді, ал техникалық құралдардың істен шығуын болдырмау негізгі мәселе болып табылады, онсыз оны уақтылы шешу әрі қарай дамыту мүмкін емес.

Әдіснама

Жылжымалы құрам мен жолдардың өзара әрекеттесу міндеттерін көптеген Ресей ғалымдары шешті, мысалы, А.П. Бородин, А.М. Годыцкий-Цвирко, Н.Е. Жуковский, Н.П. Петров, Г. М. Шахунянц, В.Б. Медель [1], А. Я. Коган, сонымен қатар шетел ғалымдары – П. Аппель [3, 4], Г. Мариер, Х. Хейман, Дж. Калкер [5], Крейг Р. Р. [2] және т. б. өз еңбектерінде қарастырған.

Бородин мұз айдындарындағы паровоздың тербелістерін зерттеу негізінде кейіннен паровоздарды сызықтық сынау әдісін жасады. Н.П. Петров супрессорлық құрылымның тербелісінен туындайтын тік күштерді зерттеумен айналысты және Акад гипотезасына негіздеді. Н.П. Петров, статикалық және динамикалық әсер ету кезінде рельстің серпімді иілу сызығының пішінінің сәйкестігін болжайтын, жылжымалы құрам мен жолдың өзара әрекеттесуі бойынша бірқатар міндеттер шешілді. Г.М. Шахунянц [2] кез-келген уақытта ерікті динамикалық жүктемеден тербелетін сәуленің серпімді иілу сызығы қозғалатын тұрақты жүктеме әсер еткенде пайда болатын пішінге сәйкес келеді, сандық жағынан сол уақытта алынған динамикалық жүктеме мәніне тең екенін дәлелдеді.

Өз зерттеулерінде Стокс сәуленің массасын есепке алмай, белгілі бір массадағы жүктің қозғалысын сипаттады, ал А.Н. Крылова керісінше, массивтік сәуле бойымен тұрақты күштің қозғалысын қарастырды. Тұрақты күштің әсерінен серпімді негізде бөлінген массасы бар сәуленің тербеліс процестерін, екі еркіндік дәрежесі бар теміржол экипажының еркін және мәжбүрлі тербелістерін С.П. Тимошенко сипаттады [4].

Шетелдік зерттеушілер үлестірілген масса арқалығы бойынша массасы бар тұрақты жүктің қозғалысын, сондай-ақ үлестірілген масса мен демпферлік арқалықтағы тұрақты инерциясыз күштердің қозғалысын зерттеді.

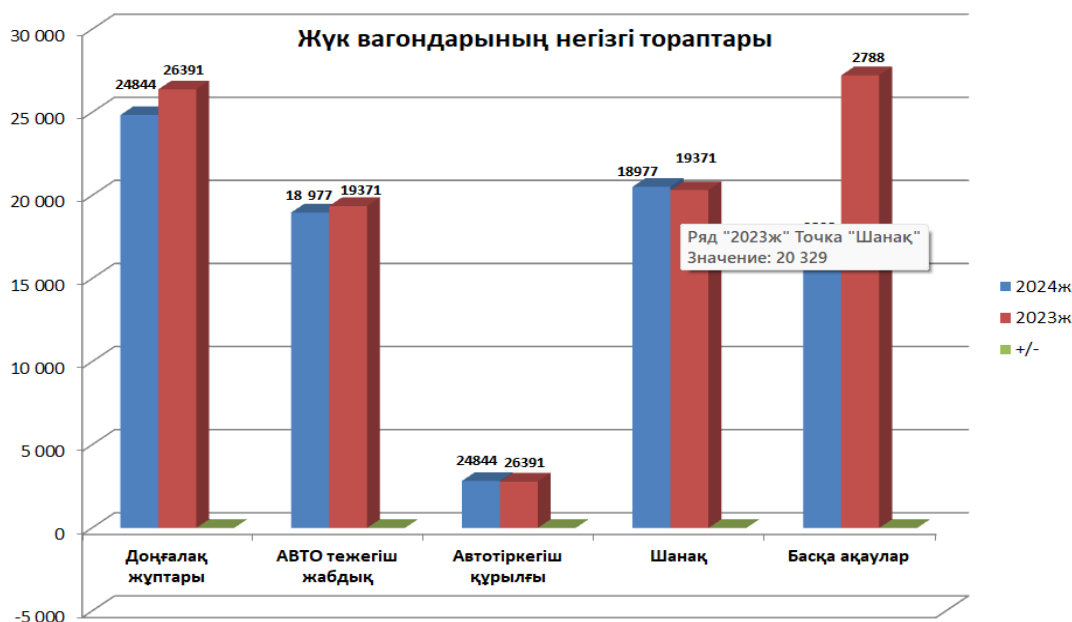
Ф. Картер алғаш рет доңғалақтардың серпімді сырғанау аймағының болуы туралы гипотеза жасады – жалған сырғанау, бұл кейіннен доңғалақ жұбының қозғалысын

дифференциалдық теңдеулермен сипаттауға мүмкіндік берді. Трибология мәселелері, атап айтқанда, тербелісті сөндіруші ретіндегі үйкелістің рөлін г.Мариер егжей-тегжейлі зерттеді.

Сонымен қатар қазіргі таңда жылжымалы құрамды отандық ғалымдарда кеңінен зерттеп келеді. Ғалымдар өз еңбектерінде жылжымалы құрамның бөлшектері мен тораптарын жөндеу және қалпына келтіру технологиясын дамытуға әр жылдары белгілі бір үлес қосып келеді.

Қ.С. Мустапаев – жол мен жылжымалы құрамның өзара іс-қимылы кезінде Қазақстан темір жолдарында пойыздардың жүрдек қозғалысын енгізу перспективаларын зерттеу, Г.М. Нуржанова – мұнай жүктерін тасымалдау көлемін ұлғайту жағдайында темір жолдың техникалық жай-күйін басқару, Ш.Т. Алмагамбетова – Қазақстан Республикасы теміржол көлігінің жылжымалы құрамын техникалық қайта жарықтандырудың тиімділігі, С.К.Тулбаев – Қазақстан темір жолдарындағы жол мен жылжымалы құрамның өзара іс-қимылының күші мен сипатын зерттеу, А.Б.Забиева – пойыз жылдамдығының жоғарылауындағы өтпелі қисықтардың тегістігін зерттеу және бағалау, М.Ж.Туркебаев – жолдың қисық учаскелеріндегі теміржол экипаждарының доңғалақ жұптарының өзара әрекеті сияқты өзекті мәселелерді көтеріп, шешімін тапты.

Дегенменде елімізде осы уақытқа дейін жылжымалы құрамның жұмыс істеуіне көптеген кедергілер бар. ҚТЖ «Жүк тасымалы» ЖШС 2023- 2024 жылдардың мәліметтерінің қорытындысы бойынша жылжымалы құрамның үздіксіз жұмыс істеуіне жүк вагондарының негізгі тораптарының істен шығуы жиі кездеседі. 1-сурет ҚТЖ «Жүк тасымалы» мекемесінің вагондардың тораптарының істен шығуы көрсетілген.



1-сурет. Жүк вагондарының негізгі тораптарының істен шығу кестесі

Қазақстан Республикасында да, ТМД темір жолдарының кеңістігінде де жаңа дайындалған доңғалақ жұптарының тапшылығы бар. Нәтижесінде вагондарда жоспарлы жөндеу, техникалық қызмет көрсету қиынға соғады.

Нәтижелер мен талқылау

Жылжымалы құрамның сенімділігін қамтамасыз ету саласындағы бұрын орындалған жұмыстарға шолу берілген, онда жылжымалы құрамға, әсіресе, поездардың бөлігіне барынша көп көңіл бөлінген.

Сенімділікті қамтамасыз ету жөніндегі зерттеулерді бірнеше хронологиялық кезеңдерге бөлуге болады, бұл кезеңдерде аталған ғылыми-техникалық бағыттар бойынша ғылыми білімге қол жеткізілген және жүйелендірілген.

Сенімділіктің қазіргі заманғы теориясының дамуы кезінде үш кезеңді атап өтуге болады.

Бірінші кезең – қалыптасу, екінші кезің – сенімділік теориясын қарқынды дамыту, объектілердің сенімділігін бағалау кезінде жүйе элементтері арасындағы функционалдық байланыстардың әсері, жұмыс режимдері және қоршаған орта факторларының әсері: температурасы, ылғалдығы, қысымы, дірілі, сәуле шығаруы және т.б. ескеріле бастады. Ал үшінші кезең- қарапайым және күрделі жүйелердегі істен шығулардың пайда болуының физикалық-химиялық және сататистикалық заңдылықтарын бұдан әрі қарайғы терең зерттеумен сипатталады.

Нарықтық экономиканың жағдайы, ЖҚ конструкциясының күрделілігін ұлғайту, шешілетін міндеттердің көп түрлілігі мен жауапкершілігі жол құрылысында пайдаланылатын жылжымалы құрамның сенімділігін қамтамасыз ету проблемаларына да айрықша көңіл бөлуге мәжбүрлейді. Кез келген қазіргі заманғы пойыз немесе аспап қандай да бір жоғары сипаттамаларға ие болса да, сенімсіз жұмыс кезінде құнсызданады. Жоғарыда атап көрсеткендей [4], сенімділік – кез келген техникалық құрылғылардың және жүйелердің функционалдық көрсеткіштерін анықтайтын барынша маңызды көрсеткіштердің бірі болып саналады.

Сенімділікті қамтамасыз ету жөніндегі зерттеулерді бірнеше хронологиялық кезеңдерге бөлуге болады, бұл кезеңдерде аталған ғылыми-техникалық бағыттар бойынша ғылыми білімге қол жеткізілген және жүйелендірілген [4].

Сенімділік теориясын дамытуға, атап айтқанда, техникалық жүйелердің жұмыс қабілетін қалпына келтіру, олардың сенімділігін бағалаудағы математикалық мәселелер, сондай-ақ пайдалану тиімділігін арттыру мәселелерін шешуге әлемдік деңгейдегі ғалымдар: А.И.Берг, Н.Г.Бруевич, А.Н.Колмогоров, Б.В.Гнеденко, Н.П.Бусленко, Б.Е.Бердичевский, Е.С.Вентцель, Г.В. Дружинин, Б.Р.Левин, А.М.Половко, Н.М.Седякин, Б.С.Сотсков, И.А.Ушаков, Е.В.Чепурин, Н.А.Шишонок, Я.Б.Шор, сондай-ақ И.Базовский, Р.Барлоу, Ф.Байхельт, М.де Грот, С.Калабро, К.Капур, Д.Кокс, Л.Ламберсон, М.Липов, Д.Ллойд, Ф.Прошан, Д.Сандлер, Р.Хевиленд және көптеген басқа ғалымдар да маңызды үлес қосты.

Жоғары пайдалану қасиеттеріне қол жеткізу үшін әзірленетін техниканың сенімділігін келесі зерттеулерді ескере отырып, өмірлік цикл процесінде қамтамасыз ету ұсынылады:

– өнімдердің сапасын анықтайтын сенімділік деңгейі өмірлік циклдің барлық кезеңінде сенімділікті қамтамасыз ету бойынша жұмыстарды үздіксіз жүргізуге кешенді тәсілдері кезінде қол жеткізіледі;

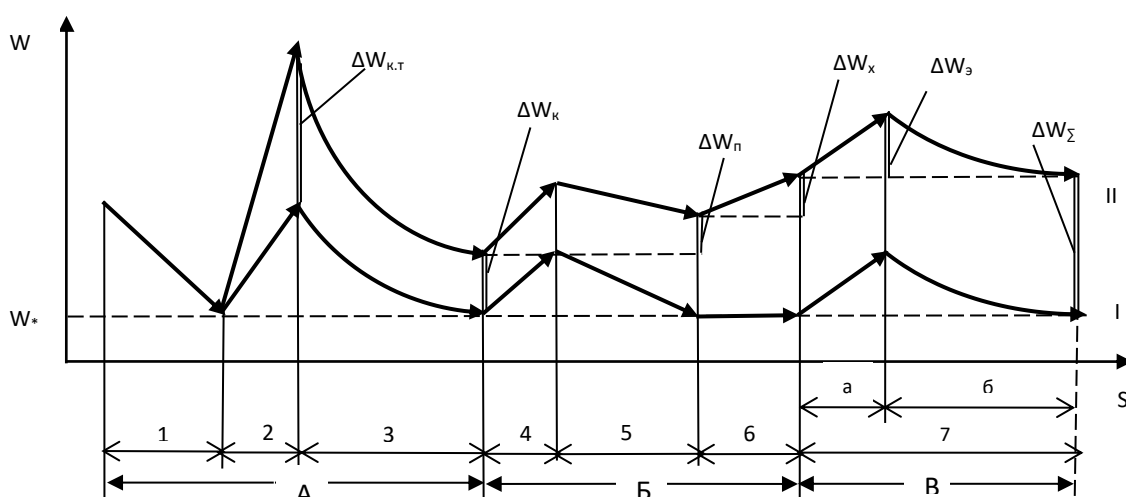
– әрбір келесі кезеңде реттеу жұмыстарының нәтижелігі сенімділік деңгейінің алдыңғы кезеңдерінде қол жеткізілген нәтижелеріне байланысты;

– үлгілердің өмірлік циклдің соңғы кезеңінде істен шығу себептерін анықтау және жою алдыңғы кезеңдердегі осы кемшілікті жою кезіндегі үлкен шығындарға әкеледі;

– бұйымдардың әрбір кезеңінде өзінің сипатты ерекшеліктерімен меншікті технологиялық және әдістемелік базалармен ілесе жүреді, бұларды толық масштабты іске асыру үлгілерді біртіндеп ретке келтіруді анықтайды;

– техниканың дамуы сенімділікті қамтамасыз етудің әдістемелік аппаратын барабар жетілдіру қажеттілігіне байланысты, талдауға байланысты артта қалып қою мүмкіндіктеріне жол берілмейді, ал бұл ғылыми сыйымдылықты технологияларды қолдануды талап етеді.

Техниканың өмірлік циклінің процесінде сенімділік өзгерісінің динамикасы кезіндегі [3] қарастырылған сапалы сипаттамаға қызығушылық білдіреді (2-сурет).



2-сурет. Техниканың өмірлік циклінің процесінде сенімділік өзгерісінің динамикасы

A – ғылыми-зерттеушілік, тәжірибелі-конструкторлық жұмыстар; B – өндіріс; B – пайдалану; 1 – жобалау; 2 – тәжірибелі үлгілерді дайындау; 3 – сынақ; 4 – өндіріске енгізу; 5 – сериялық өндіріс; 6 – сақтау; 7 – тағайындау бойынша қолдану; а – бастапқы саты; б – қалпыптасқан мерзім; W – істен шығулар ағыны параметрі; W* – тоқтаусыз жұмыс істеудің талап етілген деңгейі; S – атқарым; I және II – техниканы толық және жеткіліксіз реттеуге сәйкес нұсқалар; ΔW_{Σ} – істен шығулар ағынының қорытынды өсуі; істен шығулар есебінен W деңгейінің өсуі: $\Delta W_{к.т}$ – конструктивті және технологиялық, $\Delta W_{к}$ – конструктивті, $\Delta W_{п}$ – өндірістік, $\Delta W_{х}$ – сақтаудан кейін, $\Delta W_{э}$ – пайдалану.

Атап көрсетілгендей, объектілер өмірінің әрбір кезеңінде өзіндік сипатты ерекшеліктегі факторлар әсер етеді. Бұл факторлар әрекет ету саласы бойынша жіктеледі. [4] бұйымдардың сенімділігі олардың түрлеріне байланысты сенімділіктің барлық көрсеткіштерімен немесе бір бөлігімен бағалануы мүмкін.

Қорытынды

1. Мақалада жылжымалы құрам мен жолдардың өзара әрекеттесу міндеттері, кез-келген уақытта ерікті динамикалық жүктемеден тербелетін сәуленің серпімді иілу сызығы қозғалатын тұрақты жүктеме, жол мен жылжымалы құрамның өзара іс-қимылы кезінде Қазақстан темір жолдарында пойыздардың жүрдек қозғалысын енгізу перспективаларын зерттеу сияқты Ресейлік, шетелдік және отандық ғалымдардың еңбектеріне шолу жүргізілді.

2. Зерттеу нәтижелері теміржол көлігінің сенімділігін арттыруға ықпал етеді. Жылжымалы құрамның бөлшектерінің істен шығуы, тұрып қалуы өзекті мәселе болып табылады. Осыған байланысты сенімділік теориясы ұсынылды.

Авторлардың қосқан үлесі:

Г.Н. Байгужина – мәліметтер жинау, тестілеу, жазу, қаржыландыру

Н. Камзанов – тұжырымдама, әдістеме, ресурстар, жазу.

М. Нургалиева – мәліметтер жинау, ресурстар.

Н.Ж. Жакишева – тестілеу, қаржыландыру

Әдебиеттер тізімі

1. Медель В.Б. Исследование движения железнодорожных экипажей в кривых [Текст] / В.Б. Медель. – Томск, 2017.- Вып.20.

2. Kalker J.J. Survey of Wheel – Rail Rolling contact theory // Vehicle System Dynamics. – 2019. - P.317-358.

3. Carter, F.W. ON THE ACTION OF LOCOMOTIVE DRIVING WHEEL [Текст] /F.W. Carter //Proc. Roy. Soc. -Ser. A. - 2016. - V. 112. - S. 151- 157.

4. Муздыбаева А.С., Кульсеитов Ж.О. Управление надежностью технических систем на примере гидромеханических передач машин. –Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2017. – 216 с.

5. Казахстанские железные дороги - 27 ноября 2022 г.;

6. Boronenko Yu., Orlova A., Rudakova E. Influence of construction schemes and parameters of three-piece freight bogies on wagon stability, ride and curving qualities // Vehicle System Dynamics, Vol.44, 2018. - P. 402-414.

Г.Н. Байгужина¹, Н.С.Камзанов², М.С.Нургалиева³, Ж.Н.Жакишева¹

¹*Евразийский национальный университет имен Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан*

²*Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.Сатпаева*

³*Академия гражданской авиации*

Обзор работ по изучению взаимодействия подвижного состава и пути

Аннотация. В настоящее время экономика Республики Казахстан адаптирована к рыночным условиям. Поэтому современный этап развития экономики нашей страны сопровождается строительством уникальных объектов. Примером этого может служить строительство современных железнодорожных путей, уникальных мостовых сооружений, простирающихся на многие километры и др.

Наиболее распространенным является подвижной состав, используемый в сложных природно-климатических условиях в различных сферах и на промышленных объектах, в сфере строительства и коммунального хозяйства.

Железнодорожный путь и подвижной состав представляют собой единую термодинамическую систему, которая взаимодействует и зависит друг от друга. Основной задачей исследования динамических процессов в системе "Подвижной состав – Железнодорожный путь" является определение оптимальных значений этой системы (габаритные размеры, масса, жесткость, коэффициенты вязкого трения и т.д.), при которых уменьшаются колебания и динамические силы, отрицательно влияющие на надежность и прочность подвижного состава и дорожных конструкций.

Ключевые слова: подвижной состав, железнодорожный транспорт, надежность, жесткость, масса, эффективность, поезд.

G.N. Baiguzhina¹, N.S. Kamzanov², M.S.Nurgaliyeva³, Zh.N.Zhakisheva¹

¹*L.N. Gumilyov Eurasian National University, K. Satpayev str. 2, Astana, Kazakhstan*

²*Kazakh National Research Technical University named after K.Satpayev*

³*Academy of Civil Aviation*

An overview of the work on studying the interaction of rolling stock and track

Abstract. Currently, the economy of the Republic of Kazakhstan is adapted to market conditions. Therefore, the current stage of economic development in our country is accompanied by the construction of unique facilities. An example of this is the construction of modern railway tracks, unique bridge structures stretching for many kilometers, etc.

The most common is rolling stock used in difficult natural and climatic conditions in various fields and industrial facilities, in the field of construction and utilities.

The railway track and rolling stock represent a single thermodynamic system that interacts and depends on each other. The main task of studying dynamic processes in the Rolling Stock-Railway system is to determine the optimal values of this system (overall dimensions, weight, stiffness, coefficients of viscous friction, etc.), which reduce fluctuations and dynamic forces that negatively affect the reliability and strength of rolling stock and road structures.

Keywords: rolling stock, railway transport, reliability, rigidity, mass, efficiency, train.

References

1. Medel, V.B. Investigation of the movement of railway carriages in curves [Text] / V.B. Medel. – Tomsk, 2017.- Issue 20. – P. 2017
2. Kalker J.J. Survey of Wheel — Rail Rolling contact theory // Vehicle System Dynamics. – 2019. - P. 317 -358.
3. Carter, F.W. ON THE ACTION OF LOCOMOTIVE DRIVING WHEEL [Text] /F.W. Carter //Proc. Roy. Soc. -Ser. A. - 2016. - V. 112. - S. 151- 157.
4. Muzdybayeva A.S., Kulseitov J.O. Reliability management of technical systems using the example of hydromechanical transmissions of machines. –Ust-Kamenogorsk: EKSTU, 2007. – 216 b.

5. Kazakhstan Railways - November 27, 2022;

6. Boronenko Yu., Orlova A., Rudakova E. Influence of construction schemes and parameters of three-piece freight bogies on wagon stability, ride and curving qualities // Vehicle System Dynamics, Vol.44, 2018. - P. 402-414.

Авторлар туралы мәлімет:

Г.Н. Байгужина – докторант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ.Сәтпаев көшесі 2 Астана қаласы, Қазақстан Республикасы, +77023236796, gul_8989@mail.ru.

Н.С. Камзанов – хат-хабар авторы, PhD докторы, «Көліктік инженерия» ББ басшысы, қауымдастырылған профессор, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Сәтбаев көшесі 22, 050060, Алматы, Қазақстан

М.Нурғалиева – магистрант Академия гражданской авиации. г.Алматы

Ж.Н.Жакишева – магистрант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ.Сәтпаев көшесі 2 Астана қаласы, Қазақстан Республикасы

Г.Н. Байгужина – докторант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, улица Сатпаева, 2, Астана, Республика Казахстан, +77023236796, gul_8989@mail.ru.

Камзанов Н.С. – автор для корреспонденции, доктор PhD, руководитель ОП "Транспортная инженерия", ассоциированный профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева, ул. Сатпаева, 22, 050060, Алматы, Казахстан.

М. Нурғалиева – магистрант, Академия гражданской авиации, г. Алматы.

Ж.Н.Жакишева – магистрант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, улица Сатпаева, 2, Астана, Республика Казахстан.

G.N. Baiguzhina – doctoral student, Eurasian National University named by L.N. Gumilyov, Street Satpayev, 2, Astana, Kazakhstan, +77023236796, gul_8989@mail.ru.

N.S. Kamzanov – author of correspondence, PhD, Head of the EP" Transport Engineering", Associate Professor, K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, Satpayev STR., 22, 050060, Almaty, Kazakhstan

M. Nurgalieva – master's student of the Academy of Civil Aviation. Almaty

Zh.N. Zhakisheva – master's student, Eurasian National University named by L.N. Gumilyov, Street Satpayev, 2, 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/>).



ХҒТАР 73.29.11

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-150-1-286-300>

Шолу мақаласы

Жол машиналары паркін оңтайландыру арқылы жолды пайдалану тиімділігін арттыру

А.Ж. Карсакова^{ib}, А.Б. Оразалина*^{ib}

Абылқас Сағинов атындағы Қарағанды техникалық университеті,
Қарағанды, Қазақстан

(E-mail: orazalina_aida@list.ru)

Аңдатпа. Мақалада Қазақстан темір жолына сипаттама жасалған. Соның ішінде теміржолды жөндеу бойынша сұрақтар қарастырылған. Қазақстан теміржолын жөндеу жұмыстарын жасаудың тарихы олардың пайда болу сәтінен бастау алуына байланысты, мақалада теміржол саласындағы жұмыстың маңызды бағыттарының бірі арнайы жылжымалы құрамды жетілдіру болып табылатындығы сарапталған. Елдегі темір жолды жөндейтін кәсіпорындарға және елімізде бар жөндеу машиналарына сипаттама жасалған. Қазіргі кездегі темір жолдардың жағдайына сипаттама жасалған. Басты жолдардың жоғарғы құрылымына қойылатын талаптар қарастырылған. Жол жөндеу машиналарына сипаттама жасалып, негізгі қандай ақаулары болуы мүмкіндігіне сипаттама жасалған. Қазіргі кездегі теміржол көлігімен жүк айналымының мөлшері келтірілген. Жыл сайын теміржол көлігімен жасалатын тасымалдың ұлғайып жатқанына көз жеткізуге болады. Қазақстанда бар кәсіпорындар бойынша түзету машиналарына сипаттама жасалып, дистанциялар бойынша саны көрсетілген. Сондай-ақ, мақалада жолаушы және жүк пойыздарының жылдамдығы мен қауіпсіздігін арттыру үшін теміржол жолдардың жағдайын жақсарту мақсатында теміржолдарды сыныптау бойынша кестелер келтірілген. Соның ішінде шақпатасты балласты немесе құмды-шақпатасты қоспадан жасалған балласты пайдаланған кезде қосқабатты балласт призманы сазды топырақтардан, ұсақ және шаңдақ топырақтардан төселген жер төсемге, соның ішінде жер төсемінің үстіңгі бөлігінің қорғаныш қабатын салған кезде жобалау шаралары көрсетілген. Жалпы Қазақстанда қолданылатын темір жолды жөндеуге арналған жол машиналарының паркін оңтайландыру бойынша ұсыныстар жасалған. Мақалада ВПО – 3000, SMD-80, ЭЛБ-4С электр балластері, Duomatic 09-32 CSM, Unimat жол машинасына сипаттамалар беріліп, темір жолды жөндеу барысында көліктің кемшіліктері көрсетілген.

Түйін сөздер: теміржол көлігі, рельс, жол машиналары, теміржол, жүк айналым, жол стандарттары, жолдың жоғарғы құрылымы.

Түсті 12.03.2025. Жөнделді 18.03.2025. Мақұлданды 19.03.2025. Онлайн қолжетімді 31.03.2025

*Хат-хабар үшін автор

Кіріспе

Қазақстанда теміржол көлігі Қазақстан экономикасында маңызды рөл атқарады: ел өңірлері арасындағы экономикалық байланыстарды қамтамасыз етеді, жүк айналымы мен жолаушылар айналымы бойынша бірінші орында тұр, сондай-ақ дамуда үлкен рөл атқарады. Қазақстан транзиттік мемлекет болуына байланысты теміржол инфрақұрылымының сапасы мен оның Қазақстан үшін ыңғайлы конфигурациясы бірінші орында тұр. Осы мақсатта теміржолдар желісін жетілдіру бойынша шаралар қабылданды.

Теміржол тасымалының қарқындылығы ел экономикасының жай-күйін айқындайтын басты фактор болып табылады, сондықтан теміржол төсемінің жай-күйі тиімді жүк айналымын қамтамасыз етудің кілті болып табылады. Аталмыш мәселелер кешенін шешу үшін әртүрлі жол машиналары қолданылады. Қазақстан теміржолын жөндеу жұмыстарын жасаудың тарихы олардың пайда болу сәтінен бастау алды. Осы себепті теміржол саласындағы жұмыстың маңызды бағыттарының бірі арнайы жылжымалы құрамды жетілдіру болып табылады. Теміржолды жөндейтін машиналардың жоғары өнімділігі мен сенімділігі жолдың күйін үнемі қажетті күйде ұстап тұруға мүмкіндік береді, бұл көлік қозғалысының жоғары қарқынына кепілдік береді. Жолды жөндеу машинасының дұрыс жұмыс істеуі көбінесе айтарлықтай шығындарға әкеледі, өйткені жөндеу кестесінің бұзылуы темір жол көліктерінің жүру кестесінің бұзылуына әкеліп соғады [1].

Қазіргі уақытта теміржол жолдарының дамуы пойыз қозғалысының жылдамдығын арттырумен тікелей байланысты. Үлкен жылдамдықты жолдар жол құрылымына, жолды күрделі жөндеу мен оны ағымды ұстауға үлкен талаптар қояды. Жолда жүру жылдамдығы 141 км/сағ асқаннан кейін жолды ағымды күту, еңбек ауқымдылығы, материал және энергия сыйымдылығы үш есе артады [3].

Пойыздың қозғалыс керегенінің тығыздығы теміржол жолдарын жөндеуді аса қысқа мерзімде жүргізуге алып келеді.

1– кесте. Қазақстан Республикасында жол жөндеумен айналысатын кәсіпорындар

№	Кәсіпорын атауы
1	Ақадыр машиналандырылған дистанциясы
2	Шу механикаландырылған дистанциялары (ПЧМ Шу)
3	ЖШС «Integra Construction KZ»
4	Сороковин машиналандырылған жол дистанциясы
5	ЖШС «Теміржол жөндеу» - Камкор

Әдіснама

Пойыз қозғалысының қауіпсіздігі мен бірқалыптылығын қамтамасыз ету үшін рельс-шпал торын жиі жобалық стандартқа келтіріп отыру керек және бір уақытта оның балласт қабатын тығыздау арқылы тұрақтандырып тұру керек. Жол шаруашылығында бұл технологиялық үрдістер тығыздаушы және тұрақтандырып өңдейтін ВПР, ВПО,

«Unimat», «Duomatic 09-32 CSM» және т.б. машиналарымен және механизмдермен орындалады [13].

Кәсіпорын бойынша түзету машиналарының саны кесте 2 көрсетілген.

2-кесте. Кәсіпорын бойынша түзету машиналары

№	Кәсіпорын атауы	ВПП	ВПО	Duomatic	Unimat
1	Ақадыр машиналандырылған дистанциясы	4	3	-	-
2	Шу механикаландырылған дистанциялары	3	3	2	2
3	ЖШС «Integra Construction KZ»	3	17	3	-
4	Сороковин машиналандырылған жол дистанциясы	2	12	4	2
5	ЖШС «Теміржол жөндеу» – Камкор	4	20	3	5
	Барлығы	16	55	12	9

Жол шаруашылығының жергілікті филиалдар қамтамасыз ету үшін 2018 жылы 4,5 мың дана шағын механикаландыру құралдары сатып алынды [].

Жыл сайын пойыз қозғалысының кепілдендірілген қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін түрлі шаралар жасалады. Қолданыстағы теміржол жолының сапасын көтеруге шаралар қолданылады.

Жолаушы және жүк пойыздарының жылдамдығы мен қауіпсіздігін арттыру үшін теміржол жолын жаңғырту жүргізіледі [4].

2024 жылғы қаңтар-қарашада теміржол көлігімен 390,6 млн. тонна жүк тасымалданды, бұл 2023 жылғы қаңтар-қараша деңгейінен 2,6%-ға артық, осы кезеңде жүк айналымы 296,5 млрд. т-км құрады (2023 жылғы қаңтар-қарашамен салыстырғанда 0,9%-ға азайды), 19,2 млн. жолаушы тасымалданды (5,5%-ға артық 2023 жылғы қаңтар-қарашаға қарағанда), жолаушылар айналымы 15 млрд. п-км құрады (2023 жылғы қаңтар-қарашамен салыстырғанда 0,9%-ға өсті). [3]



1-сурет. Қазақстан Республикасының теміржол көлігіндегі жүк айналымы

Теміржолдарды сыныптау келтірілген пайдалану шарттарына сәйкес белгіленеді. Теміржол класы жүк және жолаушылар поездарының жүк қауырттылығын және қозғалыстың максималды рұқсат етілетін жылдамдықтарын үйлестіру осы Қағидаға (кесте 3) сәйкес анықталады. Жүк қауырттылығы бойынша жол 5 топқа, ал рұқсат етілген жылдамдықтар бойынша – 7 санатқа бөлінеді, олар тиісінше әріптермен және цифрлармен белгіленеді.

Жол кластарының белгілемесі жол топтары мен санаттары белгілемелерінің үйлесімі болып табылады әрі цифрлармен және әріптермен белгіленеді.

Тиісті кластағы темір жолдың үзіліссіз ұзындығы қисықтық кіші радиусының аздығынан, жолдың және жасанды құрылыстардың техникалық жай-күйінің қанағаттанарлық емес немесе басқа себептерден поездар қозғалысының белгіленген жылдамдығы кемітілген жекелеген километрлерді және орындарды есепке алмағанда, жүк қаурттылығы барлық ұзақтығында бірдей болатын және жолаушылар поездарының (жүк поездарының, егер поездар қозғалысының графигінде жолаушылар поезы болмаса немесе олардың белгіленген жылдамдықтары бірдей болса) белгіленген жылдамдықтары бірдей болатын қозғалыс учаскесі ұзындығынан кем болмауы тиіс. [4]

3-кесте. Теміржолдарды сыныптау

Жол тобы	Жүк қауырттылығы, км-ге млн. т-км брутто жылына	Жол категориясы – поездар қозғалысының рұқсат етілген жылдамдықтары (алымында – жолаушылар, бөлімінде – жүктік)						
		1	2	3	4	5	6	7
		121-140 аса	101-120 аса	81-100 аса	61-80 аса	41-60 аса	40 және одан кем	Станциялық, кірме және басқа жолдар
Басты жолдар								
Б	50 аса	1	1	1	2	2	3	5
В	25-50	1	1	2	2	3	3	
Г	10-25	1	2	3	3	3	3	
Д	5-10	2	3	3	3	4	4	
Е	5 және одан кем	3	3	3	4	4	4	

Егер жүк қауырттылығының айырмасы 30% аспайтын болса, екі немесе одан көп темір жолды учаскелердегі темір жолдардың кластары жүк қауырттылығы үлкен темір жолдардың кластарымен бірдей болып белгіленеді. Айырма үлкен болған жағдайда темір жолдардың кластары жүк қаурттылығы мен белгіленген жылдамдықтардың нақты үйлесімі арқылы белгіленеді.

Поездардың сағатына 40 км және одан аса жылдамдықтармен тура өтпелі қозғалысына арналған қабылдау-жөнелту және басқа жолдар, сағатына 40 км аса жылдамдықтармен қозғалатын поездарды өткізуге арналған кірме жолдар, сондай-ақ қауіпті жүгі бар

жылжымалы құрамды өткізуге арналған арнайы жолдар 4-класқа жатады, қалған станциялық, сұрыптау және кірме жолдар 5-класқа жатады. [4]

Түйіссіз жолдың конструкциясы, пайдаланудың барлық кезеңінде, пойыздардың қозғалысының қауіпсіздігін қамтамасыз етіп, климаттық жағдайларға сәйкес келіп, жолдардың жоспары мен пішіне байланысты болмауы тиіс, ал бунақтардың ҚР ЕЖ 3.03-114-2014 42 ұзындығы аралықтардың, бөлім блоктарының және қабылдап-жөнелту жолдарының ұзындықтарына тең; болуы тиіс.

Түйіссіз жолды төсеу жобасында, төсеу шекарасы, бунақтардың ұзындықтары, түйістіру тәсілдері, бекіту температурасы, радиустары, 350 м-ден асатын, қисықтарда төсеу шарттары (ұштардың озуын бұрыштық бойынша, 8 см-ден кем, болмайтындай), оқшаулағыш жіктер құрылғысының конструкциясы (соның ішінде тоналды бұғатталатын бөлімдерде), буынды жолға жанасатын конструкциялар, теңдестіргіш рельстердің түйістердегі, бунақтармен жалғасуына қойылатын талаптар, келтірілуі тиіс. Түйіссіз жол, теміржол көлігі саласындағы, атқарушы биліктің органының нормативтік құжаттарының талаптарына сәйкес келуі тиіс. Жүрдек магистралдар мен 160 км/сағатқа дейінгі жылдамдықтағы жолаушылар қозғалысы басым пойыздар магистралдарында, түйіссіз жол I кластық I топтық Р65 типтік тоналдық бұғатпен жабдықталған блок бөлімінің немесе аралықтың ұзына бойына теңдестіргіш аралықтарсыз, бунаққа орнында пісірілетін, ұзындығы, 800 м-ге дейінгі, бунақтағы бұрандық тесіктерсіз, 25 метрлік, электрконтактілі тәсілмен пісірілген термиялық нығайтылған жаңа рельстерден төселуі тиіс, кірме және жалғастырғыш жолдарда, бөлгіш пункттер жолын қоса, легирленген термиялық нығайтылған рельстерден төсеу керек. I, II санатты ерекше жүктасымалды магистралдарда, III және IV санатты теміржолдарда түйіссіз жолдың теңдестіргіш аралықтарында, түйістер алты бұранды болуы тиіс.

Шақпатасты балласты немесе құмды-шақпатасты қоспадан жасалған балласты пайдаланған кезде қосқабатты балласт призманы сазды топырақтардан, ұсақ және шаңдақ топырақтардан төселген жер төсемге, соның ішінде жер төсемінің үстіңгі бөлігінің қорғаныш қабатын салған кезде жобалау керек; аз мүжілетін, жартасты, ірісынықты топырақтар мен құмдардан (ұсақ және шаңдақ құмдардан басқа) төселген жер төсемге шақпатасты асбестік балласты бір қабаттап құмды балластық жастықсыз салу керек, бұл ретте балласт қабатының қалыңдығы балластың басқа рұқсат етілген түрлерін пайдалануды қоса алғанда кем дегенде 30 см болуы, ал темірбетонды шпалды жолда кем дегенде 35 см болуы тиіс. Жастық қиыршық тастан жасалған жағдайларда, қиыршық тас немесе асбест қабатының қалыңдығын балласт қабатының жалпы қалыңдығын азайтпай 5 см-ге азайту керек. Жер төсемінің негіздігіне шөкпе және қысылатын топырақтардың басымдылығы кезінде қиыршықтасты-құмды және қиыршықтасты балластағы бунақты жолды төсеу керек. Жолды шақпатасты балластқа қою және түйіссіз жолды төсеу жер төсемі толығымен тұррақтанғаннан кейін жүргізілуі тиіс. Жылдамдығы 140 км/сағ асатын желілерде тек қиыршықтасты балласты пайдалану керек.

4– кесте. Басты жолдардың жоғарғы құрылымына қойылатын талаптар

Керсек-тіштер	Санатты теміржолдар желілеріндегі жолдың жоғарғы құрылымының қалыңдығы					
	Жүрдек	Ерекше жүк тасымалды	I	II	III	IV
Рельстер типі	Р75-Р65 жаңа термиялық нығайтылған	Р75 жаңа термиялық нығайтылған	Р75-Р65 жаңа термиялық нығайтылған	Р65 жаңа термиялық нығайтылған	Ескі жылғы Р75-Р65 Р65 жаң	Ескі жылғы Р75-Р65 Р65 жаң
Шпалдардың тегі	темірбетон	темірбетон	темірбетон	темірбетон	темірбетон	темірбетон
Жолдың 1 км-не шпалдардың саны, дана: радиусы 1200 м және одан асатын түзу мен қисықтарда	2000	2000	2000	1840	1840	1840
радиусы 1200 м-ден кем қисықтарда	2000	2000	2000	2000	1840	1840
Шпал астындағы балласт қабатының қалыңдығы, см: темірбетон шпалдармен (бөлім) ағаш шпалды жолдағы асбестік (алым)	35/20	40/20	35/20	35/20	30/20	30/20
темірбетон шпалдармен	—	55	55	55	50	35

Жөндеудің, құрылыстың барлық түрлерінде және Р65-ке дейінгі рельстері бар жолдың ағымдағы күтімінде балласттың барлық түрлерінде 20-дан аспайтын беткейлерде

түзету-ұру жұмыстарын жүргізуге арналған. Қалыпты климат пен қоршаған орта температурасы -10°C -тан $+40^{\circ}\text{C}$ -қа дейін, мұздатылмаған балластпен. ВПР - 02М (сурет-2) машинасы түзетуді басқарудың микропроцессорлық жүйесімен жабдықталған.

Жолдың көлденең профилін түзету бір рельсті жіпті екінші деңгейге көтеру туралы сигнал беретін электрондық маятниктер арқылы жүзеге асырылады. Түзету жүйесі бұзушылықтарды тегістеу және жолды жобалау белгілеріне қою әдісі бойынша жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Бұл әдіспен көтеруді анықтау үшін жолды алдын-ала тегістеу қажет. Жолды түзу учаскелерде түзету үшін экстремалды арбада лазерлік эмитент орнатылған, оның сәулесі түзету негізі ретінде қызмет етеді, кабель аккордын жылжитатын алдыңғы өлшеу арбасына орнатылған қабылдағыш қабылдайды, нәтижесінде түзету механизмі қосылады.

Нәтижелер мен талқылау

Қазіргі заманауи жол жұмыстарының технологиясы бойынша мына ғалымдардың жұмыстарында қарастырылған: Ахметов М.Ф., Ибраимов А.К., Ахметов Г.М., Кожабеков Ж.Т., Муратов А.М., Усимбеков К.У., Айталиева Ш.М., Омаров А.Ж., Уразбеков А.К., Омаров А.Д., Дьяков В.Г., Каменский В.Б., Карпущенко Н.И., Кемежа Н.П., Клинова С.И., Семенова В.Т., Смыкова Е.К., Тихомирова В.И., Федулова В.Ф., Филиппова В.М., Шабалина Г.И., Шульги В.Я. және басқа да жол шаруашылығы мамандары.

Жол машиналарын пайдалану жүйесі мен құрылғысына жол қызметтері келесі талаптарды қояды:

– мүмкін болса жол жұмыстарының пойыз қозғаласына кедергісі минималды болу керек;

– жол жұмыстарын орындау үшін жолды пайдаланудан шығару уақытын қысқартуға мүмкіндігінше жол машиналарының көліктік және жұмыс жылдамдықтарын арттыру керек;

– жол машиналарымен орындалған жұмыстардың сапасы жұмыс аяқталғаннан кейін пойыз қозғалысының толық қауіпсіздігі мен графикте рұқсат етілген жылдамдыққа тез жету арқылы сипатталады.

ВПР (қосалқы жол машинасы) теміржолды күтіп ұстау мен жөндеуде маңызды рөл атқарады, бірақ оны пайдалану кезінде әртүрлі проблемалар мен кемшіліктер туындауы мүмкін. Міне олардың негізгілері:

Жол машинасы тиімді жұмыс істеу үшін белгілі бір теміржол жағдайын қажет етеді. Қатты тозған немесе зақымдалған жолдарда машинаны пайдалану қиын болуы мүмкін, бұл оның өнімділігін төмендетеді.

Көп функционалдылығына қарамастан, ВПР жол машинасы жұмыс түріне байланысты белгілі бір шектеулерге ие. Мысалы, ол өте күрделі рельефті жерлерде немесе көлік құралдарының басқа түрлері көп жүретін жерлерде жұмыс істеуге жарамсыз болуы мүмкін.

Жол техникасы, кез келген күрделі жабдық сияқты, төтенше жағдайларға ұшырауы мүмкін, әсіресе пайдалану немесе техникалық қызмет көрсету нұсқаулары сақталмаса.

Рельстердің зақымдануы, құрылымдардың құлауы немесе маңызды жүйелердегі ақаулар болуы мүмкін.

Бұл кемшіліктер ВПР жол машиналарын пайдалануды техникалық қызмет көрсету мен пайдалануға мұқият қарауды қажет ететін өте күрделі және қымбат міндетке айналдырады.

Түзету-қағу-өңдеу машинасы (ВПО-3000) (сурет-3) – бір өтуде жұмыстар кешенін орындайтын үздіксіз әрекет ететін жол машинасы: балласты мөлшерлеу және тығыздау, теміржолды қағу, түзету және өңдеу.

Ол рельстердің түріне және олардың бекітпелеріне, шпалдарына және балласт түріне қарамастан жолды және оның ағымдағы мазмұнын күрделі, орташа және көтергіш жөндеу үшін қолданылады.

Түзету-қағу-өңдеу машинасы (ВПО-3000) (сурет-3) – бір өтуде жұмыстар кешенін орындайтын үздіксіз әрекет ететін жол машинасы: балласты мөлшерлеу және тығыздау, теміржолды қағу, түзету және өңдеу.

Ол рельстердің түріне және олардың бекітпелеріне, шпалдарына және балласт түріне қарамастан жолды және оның ағымдағы мазмұнын күрделі, орташа және көтергіш жөндеу үшін қолданылады.



2-сурет. ВПР-02М



3-сурет. Түзету-ұру-әрлеу машинасы (ВПО-3000)

Кез-келген техника сияқты, ВПО-3000 жұмыс кезінде өз проблемаларына ие. Олардың негізгілері:

– ВПО-3000 жұмыс механизмдерімен жұмыс істеу үшін гидравликалық жүйелерді пайдаланады (мысалы, рельс төсегіштер). Сұйықтықтың ағуы, сорғылардың істен шығуы немесе гидравликалық желілердегі ақаулар машинаның тиімділігін төмендетіп, жөндеу жұмыстары тоқтап қалуы мүмкін;

– Түзетудің төмен дәлдігі: егер машина рельстерді дұрыс дәлдікпен түзетпесе, бұл жолдың нашарлауына, рельстерде ақаулардың пайда болуына және жылжымалы құрам дөңгелектерінің тозуының жоғарылауына әкелуі мүмкін;

– Рельстің дұрыс орнатылмауы: рельстің дұрыс орнатылмауы рельстердің қалыпты орналасуын бұзатын және жолдың жұмысына әсер ететін рельстердің біркелкі бөлінбеуіне немесе рельстердің басылуына әкелуі мүмкін.

SMD-80 (сурет -4) сериялы жолды күрделі жөндеу машинасы жоғары өнімділік пен экономикалық тиімділікке ие.

Кешен үш бөліктен тұрады: жаңа шпалдарды жеткізетін конвейер, моторлы вагон және өздігінен қозғалатын портал краны.

Қысқа «терезелерде» жұмыс істеу үшін жасалған SMD-80 барлық түрдегі шпалдарды ауыстыруға қабілетті. Оның жұмыс органдарының барлығы жұмысқа қабілеттілігін дәлелдеді, бұл серия өте сенімді беделге ие.



4-сурет. SMD-80 сериялы жолды жөндеу машинасы

Жоғары өнімділік пен мүмкіндіктерге қарамастан, SMD-80 машинасын пайдалану кезінде әртүрлі мәселелер туындауы мүмкін, олардың ішінде мыналарды атап өтуге болады:

– рельс төсегіштер, қазу құрылғылары және басқа компоненттер сияқты жұмыс механизмдері қарқынды жұмыс кезінде тез тозуға ұшырайды. Бұл машинаның бөліктерін үнемі ауыстыруды немесе жөндеуді қажет етеді;

– SMD-80 машинасы күрделі басқару жүйелерімен жабдықталған, бұл олардың жұмысындағы ақаулардың пайда болу қауіпін арттырады. Бағдарламалық жасақтамадағы қателер немесе сенсорлардағы ақаулар жұмыс дәлдігін бұзуы немесе бұзылуына әкелуі мүмкін;

– механикалық жүктемелер көп болатын теміржол жолдарының үлкен және жиі зақымдалған учаскелерінде жұмыс істегенде, жұмыс механизмдерінің бұзылуы немесе зақымдану қауіпі бар.

Электрбалластер (ЭЛБ) (сурет-5) – үздіксіз жұмыс істейтін әмбебап көп операциялық жоғары өнімді машина, жол шаруашылығын жүргізудің қолданыстағы жүйесінде көзделген жолды салу және техникалық қызмет көрсету жөніндегі жұмыстарды орындау кезінде жолды балластикалық негізге қоюға арналған. Электрбалластер жол бойында

алдын ала түсірілген балласты дозалауды, шпалдардың ұштарында балласты кесуді, беткейлерді және призманың жоларалық аймақтарын жоспарлауды, түзілетін балласт қабатына жол торын көтеруді орындайды. Жолды өрескел түзетуді және тегістеуді, жер төсемінің жиектерін жақтауды, балласт материалдарының қатарларын қалыптастыру үшін қиыршық тас базаларында жұмыс істеуді, жөндеу кезінде шағын көпірлердің аралық құрылыстарын көтеруді жүргізеді.



5-сурет. ЭЛБ-4С электр балластері

ЭЛБ-4С электрбалластерінің жол жөндеу кезінде төмендегідей мәселелер туындауы мүмкін:

– Балласты тиімсіз беру және тарату: балласты беру және тарату механизмдері дұрыс орнатылмаған немесе тозған кезде жұмыс сапасы айтарлықтай төмендеуі мүмкін. Бұл балласттың біркелкі бөлінбеуіне, жол бойындағы шөгінділердің пайда болуына немесе рельстердің астындағы тығыздықтың жеткіліксіздігіне әкелуі мүмкін;

– Ауыр немесе тұтқыр материалдармен жұмыс істей алмау: егер балласт тым ауыр, дымқыл немесе ластанған болса, оны беру және біркелкі тарату кезінде қиындықтар туындауы мүмкін.

Duomatic 09-32 CSM (сурет-6) үздіксіз циклдік әрекетті түзету және тегістеу машинасы және оның модификациялары теміржол жолдарын кешенді түзетуге, шпалдардың астындағы және шпалдардың ұштарындағы балласты тығыздауға арналған.

Жолды ағымдағы күтіп ұстау және жөндеу, жаңаларын салу және ескі желілерді қайта құру кезінде қолданылады.

Unimat(сурет-7) – бұл әмбебап түзету және тегістеу жол машинасы. Бағыттамалық бұрмаларды және 1520 мм калибрлі теміржол жолдарын түзетуге, ұруға және түзетуге арналған. жолды ағымдағы күтіп ұстау және жөндеу, жаңаларын салу және ескі желілерді қайта құру кезінде қолданылады.

Сондай-ақ жолды бақыланатын тұрақтандыруды және жолдағы шпалдардың жоғарғы төсегіндегі артық балластты және бағыттамалық бұрмалардағы арқалықтарды таңдауды жүзеге асыра алады.

Бағыттамалық бұрмаларда жұмыс істеу үшін машина бір мезгілде үш рельсті жіпті көтеруге арналған құрылғымен және төрт рельсті жіпті жүргізуге арналған ажыратылатын қағу блоктарымен жабдықталған.



6-сурет. Duomatic 09-32 CSM



7-сурет. Unimat жол машинасы

Қорытынды

Жол машиналарын одан әрі дамыту жол жұмыстарын кешенді механикаландыруды жұмыстарын сапалы және уақытылы орындауды көздейді. Кешенді механикаландыру аяқталған кезде кешенде жетіспейтін машиналарды, мысалы, түйіспесіз жолды төсеуге арналған жол төсегіштерді, жоғары өнімді рельсті тегістеу машиналарын, жол тұрақтандырғыштарын жаңарту және оңтайландыру көзделеді. Бұл ретте шешілетін негізгі міндеттер машиналардың бүкіл тізбегінің өнімділігін арттыру, «терезелерде» жүзеге асырылатын жөндеу жұмыстарының көлемін 1,5-2 есеге ұлғайту, жөндеуден кейінгі кезеңде поездардың қозғалыс жылдамдығын сағатына 60-тан 100 километр сағатына дейін арттыру, оны жөндеу кезінде жолдың бойлық бейінінің белгілерін жобалық жағдайға жақындату болып табылады. Сонымен қатар, жол машиналарының сенімділігін арттыру, олардың энергия және металл сыйымдылығы мен құнын төмендету, сондай-ақ тораптар мен бөлшектерді біріздендіру, автоматтандырылған басқаруды, машинаның жұмысын бақылау құралдарын қолдану мәселелеріне көп көңіл бөлінеді. Жол жұмыстарын жүргізу кезінде еңбекті қорғауға үлкен мән беріледі. Бұл іс-шараларды өткізу жолдың ағымдағы мазмұнын механизациялауды аяқтауға бағытталған-барлық жұмыстарды ауыр машиналармен орындау, бұл өндірісті арттырады, жұмыс сапасын жақсартады, аралықпен айналысу уақытын азайтады. Сондай-ақ, тасымал сапасы мен қауіпсіздігі артқан сайын, жүк айналымы көлемі де өсіп, экономикалық дамуға өз үлесін қосады. Жаңа технологияларды енгізу инфрақұрылымды жақсарту нәтижесінде еліміздегі логистика айтарлықтай жақсарып, тасымалдаудың тиімділігі артады, шығындар азайып, ұлттық экономиканың бәсекеге қабілеттілігі артады.

Авторлардың қосқан үлесі:

А.Ж. Карсакова – тұжырымдама, әдістеме, ресурстар, модельдеу.

А.Б. Оразалина – мәліметтер жинау, жазу, визуализация, талдау, қаржыландыру.

Әдебиеттер тізімі:

1. Попович М.В. Путевые машины: учебник / М.В. Попович, В.М. Бугаенко, Б.Г. Волковойнов и др.: под общ.ред. М.В. Попович, В.М. Бугаенко. – М.: ГОУ «Учебно – методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. – 820 с.
2. Соломонов, С.А. Путевые машины: учебник / С.А. Соломонов, М.В. Попович, В.М. Бугаенко; под общ.ред. С.А. Соломонова. М.: Желдориздат, 2000. 756 с.
3. Ұлттық статистика бюросы. Қазақстан Республикасы Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігі <https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-transport/publications/196826/>
4. Темір жолдарды сыныптау қағидасын бекіту туралы Қазақстан Республикасы Көлік және коммуникация министрінің 2011 жылғы 2 ақпандағы № 42 бұйрығы. Қазақстан Республикасының Әділет министрлігінде 2011 жылы 22 ақпанда № 6785 тіркелді.
5. Карсакова А.Ж. диссертация, «Түзету-қағу-өңдеу ВПО-3-3000 машинасын жаңғырту», Қарағанды, 2021 ж.
6. Ахметов М.Ф., Ибраимов А.К., Тюлюбева З.ДЖ. Способ снижения вибрации путевой машины ВПО-3000 // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникации имени М. Тынышпаева. – 2014. - № 5 (90). – С. 33-37.
7. Кожобеков Ж.Т., Ахметов Г.М., Муратов А.М., Ускембаев Б.О., Ахметов М.Ф. Виброуплотнитель.// База патентов Казахстана. Номер инновационного патента: 22585. 15.06.2010.
8. Карсакова А., Кадыров А., Пак И., Кызылбаева Е. (2024). Моделирование процесса уплотнения железнодорожного полотна. ВЕСТНИК ЕВРАЗИЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ Л.Н. ГУМИЛЕВА СЕРИЯ: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ, 146(1), 34-49.
9. З. Ковальский В.Ф. Выправочно-подбивочная машина-автомат ПМА-1 «Ариадна»: учебное пособие / В.Ф. Ковальский, В.А. Дубровин, А.И. Пушкин. – М.: МИИТ, 2007. – 176 с.
10. Ковальский В.Ф. Машина для локальной выправки и подбивки пути с гидроприводом перемещения .Конструкция. Расчет параметров. Часть 1: учебное пособие / В.Ф. Ковальский, М.Ю. Чалова, А.И. Пушкин. – М.: МГУПС (МИИТ), 2016. – 63 с.
11. Ковальский В.Ф. Путевые машины для ремонта земляного полотна. Конструкция расчет / В.Ф. Ковальский, М.Ю. Чалова – М.: МИИТ, 2013. – 43 с
12. Крейнис З.Л., Певзнер В.О. Железнодорожный путь. Учебник. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. – 432. с.
13. Содержание балластной призмы железнодорожного пути. / Е.С. Варызгин, Б.Н.Бондаренков, А.Н. Марготьев, В.Ф. Федулов; Под ред. Е.С.Варызгина. – М.: Транспорт, 2008. – 142 с. 35. Новые путевые машины (Подбивочно-выправочные и рихтовочная ВПР1200, ВПРС-500 и Р-2000) / Ю.П.

А.Ж. Карсакова, А.Б.Оразалина

Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан

Повышение эффективности использования дорог за счет оптимизации парка дорожных машин

Аннотация. В статье изложена характеристика Казахской железной дороги. В том числе по ремонту железной дороги. В связи с тем, что история выполнения работ по ремонту железных дорог Казахстана берет свое начало с момента их возникновения, в статье проанализировано, что одним из важнейших направлений работы в железнодорожной отрасли является совершенствование специального подвижного состава. Разработана характеристика железнодорожных перерабатывающих предприятий страны и существующих в стране перерабатывающих машин. Составлена характеристика состояния железных дорог в настоящее время. Предусмотрены требования к верхней структуре главных дорог. Составлена характеристика дорожных ремонтных машин и описание возможных основных неисправностей. Приведена величина грузооборота железнодорожным транспортом в настоящее время. Ежегодно можно убедиться в увеличении перевозок железнодорожным транспортом. По предприятиям, в которых имеются казахстаны, составляется характеристика исправительных машин, указывается количество по дистанциям. В статье также приведены таблицы классификации железных дорог с целью улучшения состояния железнодорожных путей для повышения скорости и безопасности пассажирских и грузовых поездов. В том числе при использовании балласта кремнистого или балласта из песчано-кремнистой смеси показаны меры проектирования двухслойной балластной призмы на земляном полотне, уложенном из глинистых грунтов, мелких и пыльных грунтов, в том числе при укладке защитного слоя верхней части земляного полотна. В целом выработаны рекомендации по оптимизации парка дорожных машин для ремонта железных дорог, применяемых в Казахстане. В статье даны характеристики путевой машины ВПО – 3000, SMD-80, ЭЛБ-4С, Duomatic 09-32 CSM, Unimat, а также указаны недостатки транспорта в процессе ремонта железной дороги.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, рельс, дорожное оборудование, железная дорога, грузооборот, дорожные стандарты, верхняя структура дороги.

A.J. Karsakova, A.B.Orazalina

Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

Improving the efficiency of road use by optimizing the fleet of road vehicles

Abstract. The article describes the characteristics of the Kazakhstan railway. Including the repair of the railway. Due to the fact that the history of work on the repair of railways in Kazakhstan dates back to their inception, the article analyzes that one of the most important areas of work in the railway industry is the improvement of special rolling stock. The characteristics of the country's railway processing plants and existing processing machines in the country have been developed. A description of the current state of the railways has been compiled. There are requirements for the upper structure of the main roads. The characteristics of road repair vehicles and a description of possible major malfunctions have been

compiled. The value of freight turnover by rail is given at the present time. Every year, you can see an increase in rail transport. For enterprises with Kazakhstan, the characteristics of correctional vehicles are compiled, the number of distances is indicated. The article also provides tables of railway classification in order to improve the condition of railway tracks to increase the speed and safety of passenger and freight trains. In particular, when using siliceous ballast or ballast from a sand-siliceous mixture, the design measures of a two-layer ballast prism on an earth bed made of clay soils, shallow and dusty soils, including when laying a protective layer of the upper part of the earth bed, are shown. In general, recommendations have been developed to optimize the fleet of road vehicles for railway repairs used in Kazakhstan. The article describes the characteristics of the track machine VPO – 3000, SMD-80, ELB-4S, Duomatic 09-32 CSM, Unimat, as well as the disadvantages of transport in the process of railway repair.

Keywords: railway transport, rail, road equipment, railway, freight turnover, road standards, upper road structure.

Reference:

1. Popovich M.V. Travel machines: textbook / M.V. Popovich, V.Ml. Bugaenko, B.G. Volkovoyinov et al.: under the general editorship of Jr.V. Popovich, V.Ml. Bugaenko. - M.: State Educational Institution "Educational and Methodological Center for Education in railway transport", 2009. -820 p.
2. Solomonov, S.A. Travel machines: textbook / S.A. Solomonov, M.V. Popovich, V.Ml. Bugayenko; under the general editorship of I.A. Solomonov, Jr.: Zheldorizdat, 2000. 756 P.
3. Ulttyk Statistical Bureau. Kazakhstan Republicas Strategiyalyk zhosparlau zhane reformalar agency. <https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-transport/publications/196826/>
4. Temir zholdardy synyptau kagidasyn bekit turaly Kazakhstan Republikasi kulik zhane communication Minister 2011 zhyly 2 akpandagi No. 42 buyrgy. Kazakhstan Republikasyn Adilet ministerliginde 2011 zhyly 22 akpanda No. 6785 tirkeldi.
5. Karsakova A.J. dissertation, "Tuzetu-kagu-aldeu VPO-3-3000 mashasyn zhagyrtu", Karaganda, 2021.
6. Akhmetov M.F., Ibraimov A.K., Tyulyubeva Z.J. A method for reducing vibration of the VPO-3000 track machine // Bulletin of the Kazakh Academy of Transport and Communication named after M. Tynyshpayev. – 2014. - № 5 (90). - Pp. 33-37.
7. Kozhabekov Zh.T., Akhmetov G. N.Jr., Muratov A.Jr., Uskembaev B.Ob., Akhmetov M.F. Vibration compactor//The database of patents of Kazakhstan. Innovation patent number: 22585. 06/15/2010.
8. Karsakova A., Kadyrov A., Pak I., Kyzylbaeva E. (2024). Modeling of the railway compaction process BULLETIN OF THE L. N.N. GUMILYOV EURASIAN NATIONAL UNIVERSITY SERIES: TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES, 146(1), 34-49.
9. 3. Kovalsky V.F. Straightening and punching machine-automatic machine PMA-1 "Ariadne": a textbook / V.F. Kovalsky, V.A. Dubrovin, By A. N.I. Pushkin, Moscow: MIIT, 2007. 176 P.
10. Kovalsky V.F. A machine for local straightening and lining of a path with a hydraulic displacement drive. Design Calculation of parameters. Part 1: a textbook / V.F. Kovalsky, M.Y. Chkalova, A.I. Pushkina. Moscow: MGUPS (MIIT), 2016. -63 P.
11. Kovalsky V.F. Track machines for repairing the roadbed Design calculation / V.F. Kovalsky, M.Y. Chkalova, Jr.: MIIT, 2013. – 43 P.
12. Kreinis Z.L., Pevzner V.V. Railway track Textbook. Moscow: State Educational Institution "Educational and Methodological Center for Education in Railway transport", 2009. - 432. i.

13. The contents of the ballast prism of the railway track / E. N.I. Varyzgin, B.N.Bondarenkov, A.N. Margotyev, V.F. Fedulov; edited by N. E.I.Varyzgin. - М.: Transport, 2008. -142 p. 35. New track machines (Lining, straightening and straightening VPR1200, VPRS-500 and R-2000) / Yu.P.

Авторлар туралы мәлімет:

Карсакова А.Ж. – PhD докторы, доцент м.а., Абылқас Сағинов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Нұрсұлтан Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан

Оразалина А.Б. – хат-хабар авторы, докторант, Абылқас Сағинов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Нұрсұлтан Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан

Карсакова А.Ж. – доктор PhD, и. о. доцента, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, проспект Нурсултана Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан

Оразалина А.Б. – автор корреспонденции, докторант, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, проспект Нурсултана Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан

Karsakova A.Zh. – PhD, Acting Associate Professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, 56 Nursultan Nazarbayev Avenue, Karaganda, Kazakhstan

Orazalina A.B. – author of correspondence, doctoral student, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, 56 Nursultan Nazarbayev Avenue, 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/>).

Бас редакторы: Б.Б. Тогизбаева
Компьютерде беттеген: Д. Нурушева

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 (150)/2025 – Астана: ЕҰУ. – 301 б. Шартты б.т. – 37,5. Таралымы – сұраныс бойынша.

Басуға қол қойылды: 31.03.2025 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.