

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

№4 (149)/ 2024

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, 2024

Astana, 2024

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	Асоц. 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	Асоц. профессор, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Данияр Базарбаев	PhD, ТОО «Solid Research Group», Астана, Казахстан
Алия Забиева	Асоц. 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>

МАЗМҰНЫ/ CONTENT/ СОДЕРЖАНИЕ

Дашкин Назарлы

Бұлыңғыр тәсілдегі тұрақты емес жолаушыларды әуе тасымалының болжау моделі.....

Dashqin Nazarli

Forecasting Model of Non-Scheduled Passenger Air Transportation in Fuzzy Approach.....

Дашгин Назарли

Нечеткий подход к модели прогнозирования нерегулярных пассажирских авиаперевозок..... 10

Т.К.Самуратова, Г.А. Ахмет-Абдик, Н. Омарбекова, М.Изиева, Г. Ерболкызы, С. Суюндыкова

Қазақстандағы экоқаланың негізгі белгілері: даму перспективалары.....

T.K. Samuratova, G.A. Akhmetova-Abdik, N. Omarbekova, M.Yeziyeva, G. Yerbolkyzy, S. Suyundykova

The main features of an eco-city in Kazakhstan: development prospects.....

Т.К.Самуратова, Г.А. Ахмет-Абдик, Н. Омарбекова, М.Изиева, Г. Ерболкызы, С. Суюндыкова

Основные особенности экогорода на территории Казахстана: перспективы развития..... 23

Т.Т. Мусабаев, А.Т. Мусабаева, Ж.М. Ускембаева, А.А. Тайжанова

Қазақстандағы сәулет және қала құрылысы қызметін цифрландыру: қалалық кеңістікті түрлендіру.....

T.Mussabayev, A.Mussabayeva, Zh.Uskembayeva, A. Taizhanova

Digitalization of architectural and urban planning activities in Kazakhstan: transformation of urban space.....

Т.Т.Мусабаев, А.Т.Мусабаева, Ж.М.Ускембаева, А.А.Тайжанова

Цифровизация архитектурной и градостроительной деятельности в Казахстане: преобразование городского пространства..... 32

Р.А.Кенжебаева, К.И.Самойлов

Алматы қаласындағы фитнес-орталықтардың архитектурасының ерекшеліктері.....

R.A.Kenzhebayeva, K.I.Samoilov

Features of the architecture of fitness centers in Almaty.....

Р.А.Кенжебаева, К.И.Самойлов

Особенности архитектуры фитнес-центров в г. Алматы..... 45

А.Өжет, С.Э.Мамедов

XX - ғасырдағы Ресейдегі жалпы білім беру ұйымдарының эволюциясын қалыптастырудың сәулет-жоспарлау әдістері.....

A.Ozhet, S.E.Mamedov

Architectural and planning methods of formation of the evolution of educational organizations in Russia in the 20th century.....

А.Ожет, С.Э.Мамедов

Архитектурно-планировочные методы формирования эволюции общеобразовательных организаций в России в XX веке..... 64

С.Р. Байгереев, Г.А.Гурьянов, А.Д.Сулейменов, Р. Ғабдысалық <i>Инновациялық роторлы-діріл диірмендерінде жаңа сопақ ротордың конструкциясының геометриялық параметрлерін анықтау тәсілі.....</i>	
S.R. Baigereyev, G.A.Guryanov, A.D.Suleimenov, R. Gabdyssalyk <i>Approach for determination of geometric parameters of new oval design of rotor in innovative rotor-vibration type of mills</i>	
С.Р.Байгереев, Г.А. Гурьянов, А.Д. Сулейменов, Р. Ғабдысалық <i>Подход к определению геометрических параметров новой овальной конструкции ротора в инновационных мельницах роторно-вибрационного типа.....</i>	76
М.Е.Қалекеева, Г.В.Муратбекова, О.В.Гармаш, З.Е.Қонакбай <i>Азаматтық авиация және оның ел экономикасына әсері</i>	
M.E.Kalekeyeva, G.V.Muratbekova, O.V.Garmash, Z.E. Konakbay <i>Civil aviation and its impact on the country's economy.....</i>	
М.Е. Қалекеева, Г.В. Муратбекова, О.В.Гармаш, З.Е.Конакбай <i>Гражданская авиация и ее влияние на экономику страны.....</i>	91
А.М.Молдамурат, Д.М.Калманова, А.Байманова, Х.Молдамурат, Г.А.Бегимова <i>Ұшқышсыз ұшу аппараттары арқылы өрт ошақтарын бақылау және алынған сигналдарды коммуникациялауда ақпараттық қорғау</i>	
A.M.Moldamurat, D.M.Kalmanova, A.Baimanova, Kh.Moldamurat, G.A.Begimova <i>Fire control and information protection in the communication of received signals using unmanned aerial vehicles.....</i>	
А.М.Молдамурат, Д.М.Калманова, А.Байманова, Х.Молдамурат, Г.А.Бегимова <i>Контроль очагов пожара и информационная защита при коммуникации полученных сигналов с помощью беспилотных летательных аппаратов.....</i>	104
Б.С. Доненбаев, К.Т. Шеров, С.Ш. Магавин, А.К. Ракишев, Д.Н. Махмудов <i>Қиын өңделетін материалдарды өңдеу үрдісіндегі құралдардың кернелуі деформацияланған күйін моделдеу.....</i>	
B.S. Donenbayev, K.T. Sherov, S.Sh. Magavin, A.K. Rakishev, L.N. Makhmudov <i>Modelling the stress-strain state of tool during the milling of hard – to machine materials</i>	
Б.С. Доненбаев, К.Т. Шеров, С.Ш. Магавин, А.К. Ракишев, Д.Н. Махмудов <i>Моделирование напряженно-деформированного состояния инструмента в процессе фрезерования труднообрабатываемых материалов</i>	119
Д.Б.Альмукашева, Г.Д.Мауленова, Д.А.Назарова <i>Алматы қаласының мысалында сәулеттік дизайн-коды негізінде қалалардың кеңістіктік құрылымын ұйымдастыру.....</i>	
D. Almukasheva, G. Maulenova, D. Nazarova <i>Organization of spatial structure of cities on the basis of architectural design code on the example of Almaty city</i>	
Д.Б.Альмукашева, Г.Д.Мауленова, Д.А.Назарова <i>Организация пространственной структуры городов на основе архитектурного дизайн-кода на примере города алматы.....</i>	128
А.М. Есенбаев, Т.Т. Мусабаев, А.А. Корнилова, Р.У. Чекаева <i>Тұрғын ортаның тарихи трансформациялау аспектілері (Астана қ. мысалы негізінде</i>	
A. Yessenbayev, T.T. Musabayev, A.A. Kornilova, R.U. Chekaeva <i>Aspects of the historical transformation of the residential environment (based on the example of Astana city).</i>	
А.М. Есенбаев, Т.Т. Мусабаев, А.А. Корнилова, Р.У. Чекаева <i>Исследование влияния органического наполнителя на физико-механические и адгезионные свойства серосодержащего арболита.....</i>	145

А. Мухаметжанова, А. Жандарбекова, Д. Сала, С.Бекжанова, Т. Султанов, Н. Деветьярова <i>Көлік саласының цифрлық трансформациясы: мүмкіндіктер мен қауіптерді талдау.....</i>	
A. Muhametzhanova, A. Zhandarbekova, D.Sala, S.Bekzhanova, T.Sultanov, N.Devetiyarova <i>Digital transformation of the transport industry: analysis of opportunities and risks.....</i>	
А. Мухаметжанова, А. Жандарбекова, Д. Сала, С.Бекжанова, Т. Султанов, Н. Деветьярова <i>Цифровая трансформация транспортной отрасли: анализ возможностей и рисков.....</i>	162
Ж.А.Дуйсебаев, Б.А.Алимбаев, У.Ш. Коқаев, С.О.Торбекова <i>Гидротехникалық құрылыстағы жер жұмыстарының тиімділігін көтеруге бағытталған, экскаватордың жұмысшы аспабын эксперименталдық зерттеулер әдістемесі.....</i>	
Z.A.Duisebayev, B.A.Alimbayev, O.Kokayev, S.Torebekova <i>The methodology of experimental studies of the excavator working tool aimed at improving the efficiency of excavation in hydraulic engineering</i>	
Ж.А.Дуйсебаев, Б.А.Алимбаев, У.Ш. Коқаев, С.О.Торбекова <i>Методика экспериментальных исследований рабочего инструмента экскаватора, направленных на повышение эффективности земляных работ в гидротехническом строительстве.....</i>	188
Н.А. Дауренбаева, А.Нұрланұлы, Л.Б. Атымтаева, А.А. Быков, Д.С.Ергалиев, Ө.К. Әбдірашев <i>Микроклимат параметрлерін кластеризациялау: әдістер мен математикалық сипаттамалар.....</i>	
N.A.Daurenbayeva, A.Nurlanuly, L.B.Atymtaeva, A.A.Bykov, D.S.Yergaliyev, O.K.Abdirashev <i>Clustering of microclimate parameters: methods and mathematical characteristics.....</i>	
Н.А. Дауренбаева, А.Нұрланұлы, Л.Б. Атымтаева, А.А.Быков, Д.С.Ергалиев, Ө.К.Абдирашев <i>Кластеризация параметров микроклимата: методы и математические характеристики</i>	202
А.М.Муддағалиева, С.Э.Мамедов, Т.Т.Мусабаев, А.Н.Баракбаев <i>Астана қаласының қала құрылысының негізгі мәселелері (К.Курокаваның бас жоспары аясында).....</i>	
А.М. Муддағалиева, С.Э.Мамедов, Т.Т. Мусабаев, А.Н. Баракбаев <i>Main problems of urban planning of Astana city (in the context of K. Kurokawa's master plan).....</i>	
А.М.Муддағалиева, С.Э.Мамедов, Т.Т.Мусабаев, А.Н.Баракбаев <i>Основные проблемы градостроительного планирования города Астаны (в контексте генерального плана К.Курокавы).....</i>	215
А.С.Каржаубаев, А.Е.Тойлыбаев, Г.Т.Найманова, А.О.Казенова, Г.Б. Асыллов <i>Шойын иінді білік мойнының балқыма қабатының физика-механикалық қасиеттерін зерттеу.....</i>	
A.S. Karzhaubayev, A.E.Toilybayev, G.T.Naimanova, A.O.Kazenova, G.B.Asylov <i>Study of physical and mechanical properties of the deposited layer of necks of cast-iron crankshafts</i>	
А.С.Каржаубаев, А.Е.Тойлыбаев, Г.Т.Найманова, А.О.Казенова, Г.Б. Асыллов <i>Исследования физико-механических свойств наплавленного слоя шеек чугуновых коленчатых валов.....</i>	231
К.Т.Ахметов, К.М.Байжуман, А.Б.Болатова, У.Т. Касымов, А.А. Саги <i>Континуум роботтарын басқарудың және жобалаудың инновациялық әдістері.....</i>	
K.T.Akhmetov, K.M.Baizhuman, A.B.Bolatova, U.T. Kasymov, A.A. Sagi <i>Experimental Study on Brushless Motor Control Using MPU6050.....</i>	
К.Т.Ахметов, К.М.Байжуман, А.Б.Болатова, У.Т. Касымов, А.А. Саги <i>Экспериментальное исследование управления бесколлекторным двигателем с помощью MPU6050.....</i>	244

А.Е.Кайратова, Н.С. Камзанов, Т.С. Бекетов, А.Ж. Абекова, К.К.Забиева <i>Автокөлікті тексеруге арналған машиналық көрудің заманауи түрлері.....</i>	
A.E. Kairatova, N.S.Kamzanov, T.S.Beketov, A.Zh.Abekova, K.K.Zabiyeva <i>Modern types of machine vision for vehicle inspection.....</i>	
А.Е.Кайратова, Н.С. Камзанов, Т.С. Бекетов, А.Ж. Абекова, К.К.Забиева Современные виды машинного зрения для проверки автомобиля.....	256
А.Е.Тойдыбаев, С.Р.Турсынбекова, А.С.Айтхожина, О.Әбдірашев, У.А.Усипбаев, Т.Мутап <i>Соңғы элементтер әдісін пайдалана отырып, конструкциялардың кернеулі- деформацияланған жай-күйінің міндеттерін шешу үшін қаттылықтың жаһандық матрицасын құру әдістемесі.....</i>	
A.E.Toilybaev, S.R.Tursynbekova, A.S. Aitkhozhina, O. Abdrashev, U.Usipbaev, T.Mutash <i>Methodology for constructing a global stiffness matrix for solving stress-strain problems of structures using the finite element method.....</i>	
А.Е.Тойдыбаев, С.Р. Турсынбекова, А.С.Айтхожина, О.Абдрашев, У.А.Усипбаев, Т.Мутап <i>Методика построения глобальной матрицы жесткости для решения задач напряженно- деформированного состояния конструкций с использованием метода конечных элементов Повышение износостойкости и эффективности работы поршневого уплотнения двигателей внутреннего сгорания.....</i>	269
К.К.Сейтказенова, Д.С.Мырзалиев, О.Б Сейдуллаева, А.А. Аманжол, А.Б. Усеров <i>Импульстік тамшылау жүктемелер кезіндегі эрозиялық зақымданулар</i>	
K.K.Seitkazinova, D.S. Myrzaliyev, O.B.Seidullayeva, A.A.Amanzhol, A.B.Usserov <i>Erosion damage under pulsed drop-impact loadings.....</i>	
К.К.Сейтказенова, Д.С.Мырзалиев, О.Б.Сейдуллаева, А.А. Аманжол, А.Б. Усеров <i>Эрозионные повреждения при импульсных каплеударных нагружениях.....</i>	282
О.В. Гармаш, Г.В. Мұратбекова, Д.М.Маликова, Б.Манарбекқызы, М.Е. Қалекеева <i>Логистикалық басқару жүйесіндегі рециклинг.....</i>	
O.V. Garmash, L.M.Malikova, G.V.Muratbekova, B. Manarbekkyzy, M.E. Kalekeyeva <i>Recycling in the logistics management system.....</i>	
О.В. Гармаш, Г.В. Муратбекова, Д.М. Маликова, Б. Манарбекқызы, М.Е. Калекеева <i>Рециклинг в системе логистического управления.....</i>	293
О.В. Руденко, Д.К. Аноп, А.О. Лутай, Н.В. Сошников, В.Ф. Шевляков, А.Е. Джексембаева <i>Біліктілікті тексеру провайдері: құрылыс саласында тіркелген мәнді есептеу тәжірибесі</i>	
O.V. Rudenko, D.K. Anop, A.O. Lutay, N.V. Soshnikov, V.F. Shevlyakov, A.Y. Jexembayeva <i>Provider of qualification verification: experience in calculating the attributed significance in the construction industry.....</i>	
О.В. Руденко, Д.К. Аноп, А.О. Лутай, Н.В. Сошников, В.Ф. Шевляков, А.Е. Джексембаева <i>Провайдер проверки квалификации: опыт расчета приписанного значения в строительной области.....</i>	308
В.В. Яскевич, Б.У. Қуспанғалиев, Д.К. Тальябюэ, Т. Умар <i>Қазақстанда ұлттық кәсіби стандарттар негізінде құрылыс ақпараттық үлгілеу (bim) бойынша магистратура бағдарламасын жобалау: зерттеу жағдайы.....</i>	

В.В. Яскевич, Б.У. Куспангалиев, Л.К. Тальябюэ, Т. Умар <i>Разработка магистерской программы по информационному моделированию зданий (bim) с использованием национальных профессиональных стандартов: казахстанский пример...</i>	
V.V. Yaskevich, B.U. Kuspangaliev, L.C. Tagliabue, T. Umar <i>Designing a master degree program in building information modeling (bim) using national professional standards: a case study in Kazakhstan.....</i>	326
Г.А.Карабаев, С.Э.Мамедов <i>Заманауи тұрғын үй кешендерінің сәулетінің тривиальдылық тәуекелдері (Астана қ. мысалында).....</i>	
G.A.Karabayev, S.E.Mamedov <i>The risks of triviality in the architecture of modern residential complexes (in the example of Astana)</i>	
Г.А.Карабаев, С.Э.Мамедов <i>Риски тривиальности архитектуры современных жилых комплексов (на примере г. Астана).....</i>	351
А.Б.Рахматуллина, Ж.Ж. Омирбекова, М.Б.Толганбаева, Н.М.Тасмурзаев <i>Вакуум-сублимациялық кептірудің температуралық режимін автоматты реттеу жүйесін нысан параметрлерін сәйкестендіру негізінде әзірлеу.....</i>	
A.B.Rakhmatullina, Zh. Zh.Omirbekova, M.B.Tolganbayeva, N.M. Tasmurzaev <i>Development of an automatic temperature control system for vacuum freeze-drying based on the identification of object parameters.....</i>	
А.Б.Рахматуллина, Ж.Ж. Омирбекова, М.Б.Толганбаева, Н.М.Тасмурзаев <i>Разработка системы автоматического регулирования температурного режима вакуум-сублимационной сушки на основе идентификации параметров объекта.....</i>	363
Қ.Ж. Әусенов, Т.М. Жанткин, Ә.А. Жаңбырбаев, Н.А. Қарджаубаев М.К.Мукушева, Р.Қ. Оқасов <i>Шағын модульдік реакторлар. Олардың Қазақстанның энергетикалық жүйесіндегі орны...</i>	
K.Zh.Aussenov, T.M.Zhantikin, A.A.Zhanbirbayev, N.A.Karjaubayev, M.K.Mukusheva, R.K.Okasov <i>Small modular reactor. Its place in the energy system of Kazakhstan.....</i>	
Қ.Ж. Аусенов, Т.М. Жанткин, А.А.Жанбирбаев, Н.А.Қарджаубаев, М.К.Мукушева, Р.К. Окасов <i>Малые модульные реакторы. Их место в энергосистеме Казахстана.....</i>	381



IRSTI 73.37.75

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-149-4-10-22>

Article

Forecasting Model of Non-Scheduled Passenger Air Transportation in Fuzzy Approach

Dashqin Nazarli 

National Aviation Academy of Azerbaijan Airlines, Baku, Azerbaijan

(E-mail: dnazarli.32073@naa.edu.az)

Abstract. In this paper, we delve into the conceptual underpinnings of fuzzy logic and its applicability to forecasting within the context of non-scheduled passenger air transportation. We review relevant literature, highlighting the limitations of traditional forecasting techniques and the rationale for adopting a fuzzy approach. Additionally, we outline the methodology employed in developing the proposed fuzzy forecasting model, emphasizing its adaptability to evolving operational conditions and its potential to enhance decision-making processes within the aviation industry. In the conducted research, a new method of building a forecasting model using a fuzzy approach was proposed for the time series of non-scheduled passenger air transportation with intra-series multiplicative changes. The method is based on the use of membership functions in the calculation of forecast values based on statistical indicators of intra-row changes. In regular air transportation, the intra-series changes of statistical indicators of time series are stable. On charter flights, these changes are unstable. This is due to the strong random effects of external factors (a sudden increase in demand for flights, economic changes, etc.) on the formation of charter flights. For this reason, the application of models based on trend changes does not give good enough results when building forecast models in charter air transportation. Therefore, to solve the problem, we propose to build the forecasting model of non-scheduled passenger air transportation using a fuzzy approach. The researched method was checked based on the actual data of the time series of charter flights. The obtained results were compared with classical forecasting models (ARIMA, Fine, Medium, and Coarse SVM), and it was noted that the results were obtained within acceptable limits.

Keywords: non-scheduled air transportation, forecasting, fuzzy logic, time series analysis, optimal model, classic forecasting models, statistical analysis, SVM method, kernel function

Introduction

Forecasting demand for non-scheduled passenger air transportation presents unique challenges that stem from its inherent unpredictability and the highly customized nature of its services. Unlike scheduled air services that operate on fixed routes and timetables, non-scheduled air transportation, such as charter flights and private jets, must adapt to variable demand, fluctuating market conditions, and individual customer preferences. In this context, traditional forecasting methods, which rely on historical data and assume relatively stable demand patterns, often fall short. This is where fuzzy forecasting models come into play, offering a more adaptable and nuanced approach to predicting future demand in an environment rife with uncertainties.

The distinction between applying fuzzy forecasting models to non-scheduled versus scheduled air transportation highlights their adaptability and efficiency in handling uncertainty and variability, characteristics more prevalent in non-scheduled operations. To understand why fuzzy forecasting models are particularly optimal for non-scheduled air transportation, let's break down the fundamental differences between non-scheduled (charter, private flights, etc.) and scheduled air transportation, and then dive into the attributes of fuzzy forecasting models.

- **Flexibility of Operations:** Non-scheduled air transportation offers a high degree of flexibility in terms of destinations, timings, and routes. This is in contrast to scheduled air transportation, which operates based on a fixed timetable.

- **Demand Variability:** Demand for non-scheduled flights can vary significantly and unpredictably, influenced by numerous factors such as events, seasons, and individual client needs. Scheduled flights have more predictable demand patterns, making traditional forecasting models more applicable.

- **Customization and Service:** Non-scheduled services are often tailored to specific client requirements, affecting factors such as routing, stops, and onboard services. Scheduled services are standardized for efficiency and scale.

Fuzzy forecasting models excel in environments where data is uncertain, patterns are complex, and traditional statistical models struggle to capture the nuances of human behaviour and unpredictable events. These models use fuzzy logic to handle imprecision and partial truth, making them exceptionally suited for forecasting in situations with high variability and less historical data.

- **Handling Demand Uncertainty:** The inherent flexibility in demand for non-scheduled air transportation, driven by a myriad of unpredictable factors, makes fuzzy forecasting models ideal. These models can incorporate linguistic variables (like "high demand" or "low demand") that are not easily quantifiable, providing more accurate and adaptable predictions.

- **Customization Needs:** Fuzzy models can effectively account for the wide variety of customization in non-scheduled flights, which would be challenging for more rigid, traditional forecasting models. By considering the fuzziness in customer preferences and requirements, operators can better predict demand and preferences.

- **Operational Flexibility:** The operational flexibility required for non-scheduled air transportation benefits from the adaptive nature of fuzzy forecasting models. These models can

quickly adjust to new data and scenarios, essential for managing the dynamic scheduling and routing of non-scheduled flights.

- **Cost Efficiency in Uncertain Conditions:** In the context of non-scheduled transportation, where each operation might differ significantly from the last, fuzzy forecasting helps in optimizing resource allocation, minimizing unnecessary expenditures on fuel, crew, and maintenance, thereby enhancing cost efficiency under uncertain conditions.

It should be noted that fuzzy prediction methods apply fuzzy numbers to account for uncertain changes in the input data.

Researchers have explored the use of Gaussian Support Vector Machines (SVM) methods in forecasting non-scheduled passenger air transportation processes in Heydar Aliyev International Airport. They determined that according to the results of calculations based on different Gaussian kernel functions, the medium Gaussian SVM model provided effective results. [1]

Fuzzy time series have also been used in demand forecasting by other researchers. In this study, they used the k-means approach, triangular fuzzy demand numbers, and weighted fuzzy logic connections. The experiment has shown that the proposed approach gives more effective results than other models considered in this work. [2]

Studies include fuzzy time series and gray forecasting methods applied to predict tourist arrival demand in the United States. The researchers found that it is not necessarily necessary to apply complex models to obtain optimal forecasting results.

The fuzzy logic and ARIMA model were compared by researchers to predict the passenger demand of the high-speed railway of Beijing-Shanghai in China. According to the results fuzzy logic predicts the passenger demand more accurately than the ARIMA model. [3,5]

Fuzzy time-series forecasting of tourism demand in Indonesia's Bali and Soekarno-Hatta islands has also been studied by researchers. The authors concluded that fuzzy time series are superior and provide optimal results compared to classical methods such as Box-Jenkins, seasonal ARIMA, Holt Winters, and time series regression.

In order to forecast short-term passenger flow demand at Hong Kong airport, researchers applied a combined method of singular spectrum analysis, adaptive network-based fuzzy inference systems, and advanced particle swarm optimization. [6,7]

In another study, researchers used a fuzzy time series model to predict the number of Japanese tourists visiting Taiwan each year. A new Fourier method was used to revise the analysis of the residual terms of the forecasts made by the fuzzy time series model. [8]

In the following studies, fuzzy theory was combined with the SVM method. In this study, a fuzzy rule extraction method from SVMs is presented to forecast tourism demand. [9]

The fuzzy time series (FTS) model has demonstrated an effective solution to the limitation of predicting approximate numerical forecast values of historical data. An improved fuzzy time series (IFTS) forecasting model using data variations has also been proposed by researchers to effectively forecast approximate numerical forecast values of historical data. It has been found that IFTS provides better accurate prediction results than other fuzzy SVRs.

The analyses conducted show that classical linear regression and trend models are often unable to deal effectively with various nonlinearities, complex uncertainties, and the chaotic behavior of observed stochastic processes. [10]

The time series of non-scheduled air transportation is formed by the influence of a number of external factors. When studied as a classical time series, the time series of this type of air transportation is considered to be a complex additive or multiplicative dependence of two limits: deterministic and stochastic. In this case, the first threshold is based on the trend model (approximation of functions, interpolation and extrapolation methods, smoothing, etc.), and the second threshold is based on various mathematical and stochastic methods (dispersion, factor and correlation analysis, autoregression methods, random number modeling methods, etc.). In many cases, the models built are limited to only known measurements and are not sufficiently adequate because the process characteristics outside the measurements are not taken into account during the case studies.

While fuzzy forecasting models can also benefit scheduled air transportation, especially in handling irregularities and seasonal variations, the structured nature of scheduled services – with extensive historical data and more predictable demand patterns – often makes traditional forecasting methods sufficiently effective. The strengths of fuzzy forecasting models are simply more aligned with the challenges presented by non-scheduled air transportation. The application of fuzzy forecasting models is particularly optimal for non-scheduled air transportation due to the high degree of uncertainty, variability in demand, and the need for operational flexibility. These models provide a robust framework for making informed decisions in the face of imprecise data, making them a valuable tool for improving efficiency and responsiveness in the non-scheduled air transport sector.

In this regard, it should be noted that it is very necessary to conduct research with the participation of fuzzy models in creating an optimal forecasting model for non-scheduled passenger air transportation.

The methodology

The statistical indicators of the time series of non-scheduled passenger air transportation depend on many internal and external factors, and at the same time, they are formed depending on the political and economic situation of the country to which the airline belongs. The economic changes taking place in the country are reflected in the non-scheduled air transportation sector as well as in other areas. As a result, non-scheduled passenger air transportation for each country is country-specific, which complicates the application of classical methods. The fact that the changes are different in nature makes it difficult to apply the same classic forecast model to all countries. With this in mind, a fuzzy approach is applied to overcome this problem. Fuzzification of intra-line changes in non-scheduled passenger air transportation was carried out based on the statistical indicators of the line. Fuzzification can also be applied to other approaches, such as interval estimation, scale estimation, etc.

Another problem encountered in studies is the lack of data. This can be mainly explained by the stagnation in the field of civil aviation due to the global pandemic situation in recent years. On the other hand, the lack of trend changes in the time series of non-scheduled passenger air transportation makes it difficult to think about how the process changes. Despite all these problems, every airline that performs non-scheduled passenger air transportation has a fleet of

aircraft that remains stable for a certain period of time and carries out transportation based on it. This feature allows us to build forecasting models in a fuzzy approach based on actual time series data. In the conducted research, we have implemented the construction of the time series forecasting model of non-scheduled passenger air transportation using statistical indicators.

Solution method

Based on the supporting facts mentioned above, we propose to build a forecast model using a fuzzy approach, using the randomness of the intra-series changes of the statistical indicators of non-scheduled passenger air transportation to solve the problem.

Let's enter the following notation to build the model:

- n : the number of years involved in the research;
- x_{kj} : the amount of non-scheduled passenger air transportation in the j -th month of the k -th year ($i=1, n; j=1,12$)

As a characteristic of intra-series changes, the increase (or decrease) factor for months is calculated as follows:

$$M_{kj} = x_{kj} - x_{(k-1)} \quad (k = 2, n; j = 1,12) \tag{1}$$

In the time series calculated by the formula (1), the thresholds are positive (the case of increases in non-scheduled passenger air transportation) ($M^+ k_j$) and negative (the case of decreases) ($M^- k_j$). and their numbers are, respectively. It is denoted as (n^+) and (n^-). It is assumed that M_{kj} is 0. In this case, the value 0 is considered in ($M^+ k_j$) or ($M^- k_j$) depending on the values before and after the occurrence of this case.

The maximum, minimum, and average quantities of increase (decrease) values for the corresponding months of the years involved in the study ($MAX_{\pm}(j)$, $MIN_{\pm}(j)$ and $S_{\pm}(j)$) are calculated. The absence of a positive or negative trend in any year should be taken into account in the calculation of the mentioned indicators.

Using these calculated values, we can construct a membership function for intra-series changes in non-scheduled passenger air transportation based on the terms "low increase" ("low decrease"), "average increase" ("average decrease"), and "high increase" ("high decrease").

As we mentioned above, numerous factors affecting the time series of non-scheduled air transportation lead to the fact that intra-series changes are of a fuzzy nature. Let us use the statistical method of constructing membership functions to evaluate the terms. With this method, it is possible to construct the membership function by taking positive signs as an increase and negative signs as a decrease. In this case, the above-mentioned terms are respectively defined as follows:

$$\mu^+(x, j) = \left\{ \begin{array}{l} x: MIN^+(j)/little\ growth, S_{average}^+(j)/average\ growth, \\ MAX^+(j)/too\ much\ growth \end{array} \right\} \tag{2}$$

$$\mu^-(x, j) = \left\{ \begin{array}{l} x: MIN^-(j)/little\ decrease, S_{average}^-(j)/average\ decrease, \\ MIN^-(j)/too\ much\ reduction \end{array} \right\}$$

Let's determine the characteristics of intra-series changes using the above formulas. For this, let's use the weighting coefficient of for each month, the mean square deviation, and intra-series fractal changes during the years in which the increase or decrease characteristics of intra-series changes were involved in the study.

$$\delta_j^{\pm} = \frac{\sum_{i=1}^{n^{\pm}} M_{ij}^{\pm}}{\sum_{i=1}^{n^{\pm}} |M_{ij}^{\pm}|}, \quad j = \overline{1,12} \quad (3)$$

$$\sigma_j^{\pm} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n^{\pm}} (M_{ij}^{\pm} - S_{ij}^{\pm})^2}{n^{\pm}}}, \quad j = \overline{1,12} \quad (4)$$

$$\nu_j^{\pm} = \frac{\sigma_j^{\pm}}{S_{average}^{\pm}}, \quad j = \overline{1,12} \quad (5)$$

Based on the base year, let's calculate the indicators for the forecast year as follows. Since the membership function characterizes the changes in the months of all years, its product with the weight coefficient can be used as the main indicator of the changes in the months of the years involved in the study.

$$Q^{\pm}(x, j) = \mu^{\pm}(x, j) * \delta^{\pm}(j) \quad (6)$$

Let us use the numerical value of the fractal dimension of the series as a random characteristic of the variations within the series.

$$P^{\pm}(j) = \sigma^{\pm}(j) * \nu^{\pm}(j) \quad (7)$$

We can accept the numerical value of the changes from the selected base year for the forecast year based on the formula (8):

$$R(x, j) = (Q^+(x, j) + P^+(j)) + (Q^-(x, j) + P^-(j)) \quad j = \overline{1,12} \quad (8)$$

Thus, using the indicators of the base year (n – 1) of the time series, we determine the forecast values for the next year. The prediction (x_{nj}^P) is given as the sum of the corresponding threshold and the R(j) parameter calculated by the formula (8):

$$x_{nj}^P = x_{n-1j} + R_j(x_{n-1}) , \quad j = \overline{1,12} \quad (9)$$

Statistics covering the years 2020-2023 were used to build a forecasting model based on fuzzy time series (Table 1). Based on the given statistical indicators, a forecast for 2023 is made based on the years 2020-2022, and the results will be compared with the actual indicators of 2023.

Table 1. Statistical indicators of non-scheduled passenger air transportation for 2020-2023

Months	Years			
	2020	2021	2022	2023
January	238	135	301	470
February	162	257	367	490
March	230	769	756	886
April	298	534	492	855
May	366	527	585	932
June	433	610	340	370
July	501	557	552	495
August	569	631	565	623
September	637	599	446	475
October	749	596	425	550
November	483	609	523	746
December	584	601	465	790

Note: by the author himself

Taking 2023 as the base year, the linguistic terms of fuzzy changes were determined as a result of the reports carried out according to formulas (1)–(2), and appropriate membership functions were constructed. According to Table 1, the characteristics of intra-row changes were calculated. The calculated membership function is defuzzified based on the statistical indicators calculated according to the formulas (3)–(5), and the forecast for 2023 is given according to the formulas (8)–(9) (Table 2).

Table 2. Forecast prices of non-scheduled passenger air transportation for 2023

Months	Rj	Forecast- 2023	Fact- 2023
January	14.63938	316	470
February	6.830616	374	490
March	95.53741	852	886
April	17.76326	510	855
May	24.19093	613	932
June	-13.6998	326	370
July	1.018109	553	495
August	-0.17134	565	623
September	38.11782	481	475
October	-15.3145	409	550

November	2.771475	525	746
December	-6.06723	458	790

Note: by the author himself

In order to compare the proposed model with models based on trend changes, reference is made to the literature by [1], [3] (Figure 1).

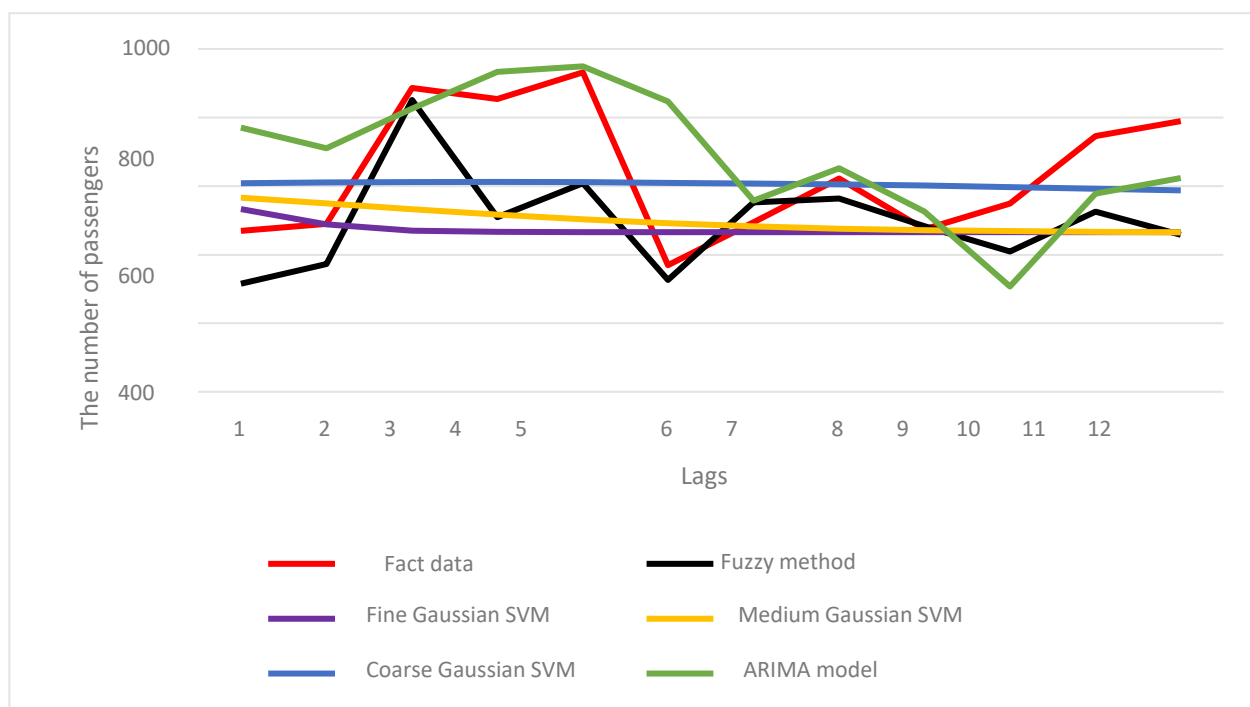


Figure 1. Comparative forecasting results of fuzzy, SVM, and ARIMA models

Note: by the author himself

In order to compare the obtained forecast results with our proposed results, let's look at the changes in the relative error of the forecast indicators with the actual values for the selected year (Figure 2). As can be seen from the figure, in all cases, the proposed model gives better results than the others. The average relative error of the studied models is 15.18% for the fuzzy method, 25.77% for the fine Gaussian SVM, 25.93% for the medium Gaussian SVM, 26.67% for the coarse Gaussian SVM, and 30.92% for the ARIMA model.

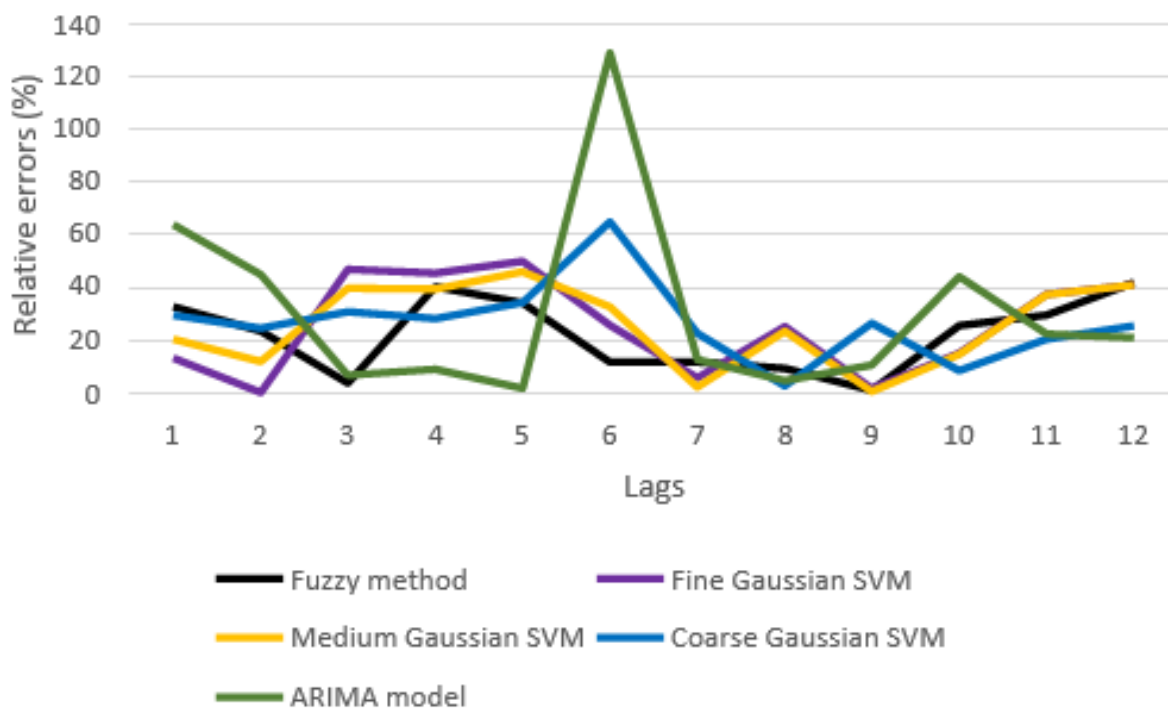


Figure 2. Relative error of forecast results of fuzzy, SVM, and ARIMA models based on actual indicators

Note: by the author himself

Findings/Discussion

Non-scheduled air transportation is formed depending on many internal and external factors. Some of these factors include the country's economic situation and social events. All other factors are formed completely randomly. In this case, the construction of the forecasting model is different from regular air transportation. Our research results show that the fuzzy method is more effective and optimal than other traditional methods. This method, suitable for the characteristics of non-scheduled air transportation, can be applied in future research in a hybrid form or in the construction of machine learning methods. Additionally, it should be noted that there is very little research on the forecasting of non-scheduled passenger air transportation. Applying forecasting models here by studying the characteristics of this type of air transportation and obtaining effective results is a scientific innovation. Other researchers can also apply predictive models using these results as a baseline.

Conclusion

A new approach to building a fuzzy forecasting model for classical time series with intra-series multiplicative changes is proposed. The method is based on the procedure for calculating forecast indicators from membership functions constructed using statistical indicators of intra-series changes in classical time series. The proposed method was applied to the time series of non-scheduled passenger air transportation. The results obtained on the basis of the

computational experiment were compared with the average relative error between the forecast indicators calculated for the classical forecast models (ARIMA, SVM) and the actual indicators. The analysis of the results revealed that the proposed model gives 10–15% better results than the classical models.

Acknowledgement, conflict of interests

I express my gratitude to **Nadir Aghayev**, professor of the Computer Systems and Programming department of the National Aviation Academy, for his profound contributions and close participation in the preparation of statistical data and the processing of mathematical formulas during the research.

This research received no external funding. The authors declare no conflict of interest

References

1. Aghayev, N., Nazarli, D. Support vector machines for forecasting non-scheduled passenger air transportation. *Problems of Information Technology*, 15(1), 3–9. (2024) <https://doi.org/10.25045/jpit.v15.i1.01> – **journal in the English language**
2. Dou, Fei; Xu, Jie; Wang, Li; Jia, Limin. A train dispatching model based on fuzzy passenger demand forecasting during holidays, *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, ISSN 2013-0953, OmniaScience, Barcelona, Vol. 6, Iss. 1, pp. 320- 335, (2013) <https://doi.org/10.3926/jiem.699> – **journal in the English language**
3. Lee, M. H., Nor, M. E., Suhartono, Sadaei, H. J., Rahman, N. H. A. & Kamisan, N. A. B.. Fuzzy Time Series: An Application to Tourism Demand Forecasting. *American Journal of Applied Sciences*, 9(1), 132-140. (2012) <https://doi.org/10.3844/ajassp.2012.132.140> – **journal in the English language**
4. Srisaeng, P., Baxter, G. S., & Wild, G. (2015). An adaptive neuro-fuzzy inference system for forecasting australia's domestic low cost carrier passenger demand. *Aviation*, 19(3), 150-163. (2015) <https://doi.org/10.3846/16487788.2015.1104806> – **journal in the English language**
5. Xu, X., Law, R., Chen, W. and Tang, L. "Forecasting tourism demand by extracting fuzzy Takagi-Sugeno rules from trained SVMs", *CAAI Transactions on Intelligence Technology*, Vol. 1 No. 1, pp. 30-42. (2016) <https://doi.org/10.1016/j.trit.2016.03.004> – **journal in the English language**
6. Huarng, K.H., Yu, T.H. K., Moutinho, L., & Wang, Y.C. Forecasting tourism demand by fuzzy time series models. *International Journal of Culture, Tourism and Hospitality Research*, 6(4), 377–388. (2012) <https://doi.org/10.1108/17506181211265095> – **journal in the English language**
7. Mahua Bose and Kalyani Mali. Designing fuzzy time series forecasting models: A survey. *Int. J. Approx. Reasoning* 111, C (Aug 2019), 78–99. <https://doi.org/10.1016/j.ijar.2019.05.002> – **journal in the English language**
8. Tai Vovan, "An improved fuzzy time series forecasting model using variations of data," *Fuzzy Optimization and Decision Making*, Springer, vol. 18(2), pages 151-173, June 2019 <https://doi.org/10.1007/s10700-018-9290-7> – **journal in the English language**
9. Tseng, F.M., Tzeng, G.H., Yu, H.C., & Yuan, B. J.. Fuzzy ARIMA model for forecasting the foreign exchange market. *Fuzzy sets and systems*, 118(1), 9-19. (2001) <https://doi.org/10.1016/s0165-01149800286> – **journal in the English language**
10. Wang, C.H. Predicting tourism demand using fuzzy time series and hybrid grey theory. *Tour. Manag.* 25(3), 367–374, (2004) [http://dx.doi.org/10.1016/S0261-5177\(03\)00132-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0261-5177(03)00132-8) – **journal in the English language**

Дашкин Назарлы

Әзірбайжан әуе жолдарының Ұлттық авиация академиясы, Баку, Әзірбайжан

Бұлыңғыр тәсілдегі тұрақты емес жолаушыларды әуе тасымалының болжау моделі

Аңдатпа. Бұл жұмыста біз анық емес логиканың концептуалды негіздерін және оның жоспарлы емес жолаушыларды әуе тасымалы контекстінде болжау үшін қолдану мүмкіндігін қарастырамыз. Біз дәстүрлі болжау әдістерінің шектеулерін және анық емес тәсілді қабылдаудың негіздемесін көрсете отырып, тиісті әдебиеттерді қарастырамыз. Сонымен қатар, біз болжамды болжаудың ұсынылған моделін әзірлеуде қолданылатын әдістемені сипаттаймыз, оның өзгермелі операциялық жағдайларға бейімделуіне және оның авиациялық индустрияда шешім қабылдау процестерін жақсартуға арналған әлеуетіне баса назар аударамыз. Жүргізілген зерттеулерде қатар ішілік мультипликативтік өзгерістері бар тұрақты емес жолаушыларды әуе тасымалының уақыттық қатары үшін анық емес тәсілді пайдалана отырып болжау моделін құрудың жаңа әдісі ұсынылды. Әдіс жол ішілік өзгерістердің статистикалық көрсеткіштеріне негізделген болжамдық мәндерді есептеуде мүшелік функцияларды қолдануға негізделген. Тұрақты әуе тасымалы кезінде уақыттық қатарлардың статистикалық көрсеткіштерінің қатар ішілік өзгерістері тұрақты. Чартерлік рейстерде бұл өзгерістер тұрақсыз. Бұл чартерлік рейстердің қалыптасуына сыртқы факторлардың (рейстерге сұраныстың кенеттен өсуі, экономикалық өзгерістер және т.б.) күшті кездейсоқ әсерлеріне байланысты. Осы себепті чартерлік авиатасымалда болжамдық үлгілерді құру кезінде тренд өзгерістеріне негізделген үлгілерді қолдану жеткілікті жақсы нәтиже бермейді. Сондықтан, мәселені шешу үшін біз анық емес тәсілді пайдалана отырып, тұрақты емес жолаушыларды әуе тасымалының болжау моделін құруды ұсынамыз. Зерттелетін әдіс чартерлік рейстердің уақыттық қатарының нақты деректері негізінде тексерілді. Алынған нәтижелер классикалық болжау үлгілерімен (ARIMA, Fine, Medium және Coarse SVM) салыстырылды және нәтижелердің қолайлы шектерде алынғаны атап өтілді.

Түйін сөздер: жоспарлы емес әуе тасымалы, болжау, анық емес логика, уақыттық қатарларды талдау, оңтайлы модель, классикалық болжау модельдері, статистикалық талдау, SVM әдісі, ядро функциясы

Дашгин Назарли

Национальная Авиационная Академия Азербайджанских Авиалиний, Баку, Азербайджан

Нечеткий подход к модели прогнозирования нерегулярных пассажирских авиаперевозок

Аннотация. В этой статье мы углубляемся в концептуальные основы нечеткой логики и ее применимость к прогнозированию в контексте нерегулярных пассажирских авиаперевозок. Мы рассматриваем соответствующую литературу, подчеркивая ограничения традиционных методов прогнозирования и обоснование принятия нечеткого подхода. Кроме того, мы описываем методологию, используемую при разработке предлагаемой нечеткой модели прогнозирования, подчеркивая ее адаптивность к изменяющимся эксплуатационным условиям и ее потенциал

для улучшения процессов принятия решений в авиационной отрасли. В этом исследовании был предложен новый метод построения модели прогнозирования с использованием нечеткого подхода для временного ряда нерегулярных пассажирских авиаперевозок с внутрирядными мультипликативными вариациями. Метод основан на использовании функций принадлежности при расчете прогнозных значений на основе статистических показателей внутрирядовых изменений. В регулярных авиаперевозках внутрирядовые изменения статистических показателей временных рядов устойчивы. В чартерных авиаперевозках эти изменения неустойчивы. Это обусловлено сильным случайным воздействием внешних факторов (резкий рост спроса на авиаперевозки, экономические изменения и т. д.) на формирование чартерных авиаперевозок. По этой причине использование моделей, основанных на трендовых изменениях, не дает достаточно хороших результатов при построении моделей прогнозирования в чартерных авиаперевозках. Поэтому для решения поставленной задачи предлагается построить модель прогнозирования нерегулярных пассажирских авиаперевозок с использованием нечеткого подхода. Исследуемый метод был протестирован на фактических данных временных рядов чартерных авиаперевозок. Полученные результаты были сопоставлены с классическими моделями прогнозирования (ARIMA, Fine, Medium и Coarse SVM), и было отмечено, что результаты были получены в приемлемых пределах.

Ключевые слова: нерегулярные авиаперевозки, прогнозирование, нечеткая логика, анализ временных рядов, оптимальная модель, классические модели прогнозирования, статистический анализ, метод SVM, функция ядра

References

1. Aghayev, N., Nazarli, D. Support vector machines for forecasting non-scheduled passenger air transportation. *Problems of Information Technology*, 15(1), 3–9. (2024) <https://doi.org/10.25045/jpit.v15.i1.01> – **journal in the English language**
2. Dou, Fei; Xu, Jie; Wang, Li; Jia, Limin. A train dispatching model based on fuzzy passenger demand forecasting during holidays, *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, ISSN 2013-0953, OmniaScience, Barcelona, Vol. 6, Iss. 1, pp. 320- 335, (2013) <https://doi.org/10.3926/jiem.699> – **journal in the English language**
3. Lee, M. H., Nor, M. E., Suhartono, Sadaei, H. J., Rahman, N. H. A. & Kamisan, N. A. B.. Fuzzy Time Series: An Application to Tourism Demand Forecasting. *American Journal of Applied Sciences*, 9(1), 132-140. (2012) <https://doi.org/10.3844/ajassp.2012.132.140> – **journal in the English language**
4. Srisaeng, P., Baxter, G. S., & Wild, G. (2015). An adaptive neuro-fuzzy inference system for forecasting australia's domestic low cost carrier passenger demand. *Aviation*, 19(3), 150-163. (2015) <https://doi.org/10.3846/16487788.2015.1104806> – **journal in the English language**
5. Xu, X., Law, R., Chen, W. and Tang, L. "Forecasting tourism demand by extracting fuzzy Takagi-Sugeno rules from trained SVMs", *CAAI Transactions on Intelligence Technology*, Vol. 1 No. 1, pp. 30-42. (2016) <https://doi.org/10.1016/j.trit.2016.03.004> – **journal in the English language**
6. Huarng, K. H., Yu, T. H. K., Moutinho, L., & Wang, Y. C. Forecasting tourism demand by fuzzy time series models. *International Journal of Culture, Tourism and Hospitality Research*, 6(4), 377–388. (2012) <https://doi.org/10.1108/17506181211265095> – **journal in the English language**

7. Mahua Bose and Kalyani Mali. Designing fuzzy time series forecasting models: A survey. Int. J. Approx. Reasoning 111, C (Aug 2019), 78–99. <https://doi.org/10.1016/j.ijar.2019.05.002> – **journal in the English language**

8. Tai Vovan, "An improved fuzzy time series forecasting model using variations of data," Fuzzy Optimization and Decision Making, Springer, vol. 18(2), pages 151-173, June 2019 <https://doi.org/10.1007/s10700-018-9290-7>– **journal in the English language**

9. Tseng, F. M., Tzeng, G. H., Yu, H. C., & Yuan, B. J.. Fuzzy ARIMA model for forecasting the foreign exchange market. Fuzzy sets and systems, 118(1), 9-19. (2001) <https://doi.org/10.1016/s0165-01149800286>– **journal in the English language**

10. Wang, C.H. Predicting tourism demand using fuzzy time series and hybrid grey theory. Tour. Manag. 25(3), 367–374, (2004) [http://dx.doi.org/10.1016/S0261-5177\(03\)00132-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0261-5177(03)00132-8) – **journal in the English language**

Information about the authors:

Nazarli D.SH. – PhD student in Air Transport Production Department, National Aviation Academy of Azerbaijan Airlines, Mardakan avenue, 30, AZ1045, Baku, Azerbaijan

Назарли Д.Ш. – аспирант кафедры производства воздушного транспорта, Национальная Авиационная Академия Азербайджанских Авиалиний, проспект Мардакяна, 30, AZ1045, Баку, Азербайджан.

Назарли Д.Ш. – Әуе көлігі өндірісі бөлімінің PhD докторанты, Әзірбайжан Әуе жолдары Ұлттық Авиация Академиясы, Мардакан даңғылы, 30, AZ1045, Баку, Әзірбайжан



Copyright: © 2024 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>)



IRSTI 67.23.13

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-149-4-23-31>

Article

The main features of an eco-city in Kazakhstan: development prospects

T.K. Samuratova*¹, G.A. Akhmetova-Abdik¹, N. Omarbekova², M.Yeziyeva³,
G. Yerbolkyzy¹, S. Suyundykova¹

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

²Karaganda Medical University NC JSC, Karaganda, Kazakhstan

³Akdeniz University, Antalya, Türkiye

(E-mail: *Samyratovatk@mail.ru)

Abstract. This article is devoted to the prospects of construction and development of an eco-city in Kazakhstan. The mixed research method was chosen as the most effective for a diverse review. The objective is to identify the main features of an eco-city on the territory of Kazakhstan. The task is to theoretically identify the main features of an eco-city in Kazakhstan with its future development prospects. The construction system, city infrastructure, and landscape design are analyzed. Based on the conducted research, the authors have identified and justified the need to improve the design and research activities of construction. The importance of choosing a territory is described. The principles and qualities of the territory when choosing a place for construction are presented. The conclusion is made about the importance of preserving the ecological environment of the territory during construction. Environmental conservation methods and their importance are described. It also describes the impact of construction on the state of the air, its impact on human health and the environment. An experimental study was conducted and the results of a survey were presented, the purpose of which was to identify the ecological situation of Kazakhstan and the project of the future eco-city. The research shows that urban development is a priority area for the implementation of “green” principles in the economy, along with industry, energy, transport and infrastructure, and agriculture.

Keywords: project activity, project, green construction, sustainable development, construction, eco-city.

Received 9.01.2024. Revised 22.09.2024. Accepted 13.12.2024. Available online 31.12.2024

¹*the corresponding author

Introduction

The Decree of the President of the Republic of Kazakhstan No. 577 dated May 30, 2013 on the concept of transition of the Republic of Kazakhstan to a "green economy", has led to a greater focus on environmental issues. According to the decree, one of the primary tasks of construction is 100% recycling of construction waste, as well as the impact of construction on the environment in order to minimize environmental damage on the construction site.

In the contemporary era, the growth of construction and expansion of cities have had a significant impact on air quality. The increase in harmful emissions has resulted in an urgent need for the construction of eco-cities. According to the AQI system [1], the territory of the capital of Kazakhstan, Astana, is ranked 7th in the air quality pollution index, second only to megacities in China and India.

Thus, for the construction of an eco-city, it is necessary to take into account the air quality on the territory of the planned construction, where six main air pollutants are taken into account for calculating the AQI: solid particles (PM 10 and PM 2.5), carbon monoxide (CO), ozone (O₃), nitrogen dioxide (NO₂) and sulfur dioxide (SO₂). An AQI in the range of 0 to 500 has different concentrations of pollutants and associated health effects. The concentration of PM_{2.5} in Astana is now 11.9 times higher than the WHO recommended average annual air quality value.

Inhaling air with PM_{2.5} particles causes 3% of deaths from diseases of the respiratory and cardiovascular systems, and 5% of deaths from lung cancer. P_{2.5} arises from the smallest pieces of soot, asphalt and car tires, particles of mineral salts [2].

Based on research, it is necessary to design and manage new and innovative ways in the construction and design of buildings and structures.

Eco-city planning is formed based on the lessons of the past and the expectation of a new future, which entails the formulation of a multi-scale vision that, by further interacting with the main trends and trends and evolutionary shifts in science and technology, creates new opportunities for achieving the sustainable development goals of the eco-city.

The processes of conversion to sustainable construction are motivated by the need to solve environmental problems. This means that when design in eco-city, it is necessary to analyze, plan, research and manage new and innovative construction methods in order to improve and increase their contribution to the development perspective.

The purpose of this study is to examine the territory for the development of an eco-city in Kazakhstan, to study the terrain and landscape for creating a future eco-city.

When studying the literature, it was revealed that the concepts of "landscape ecology" and "conservation of environmental ecology" are used synonymously, but there is a fundamental difference between them. Landscape ecology, unlike simple environmental ecology, includes not only abiotic and biotic components, but also humans.

Thus, it will allow determination of the optimal ratio of its natural and cultural elements during construction for the purposes of environmentally safe and economically efficient land use, conservation of biological diversity, etc. The application of landscape and environmental

studies are used in the field of design of protected natural areas and ecological networks, the restoration of disturbed landscapes, in landscape planning, the management of multifunctional land use, etc.

The work positively assesses the design experience in which the architectural and planning characteristics of the building are aimed at the qualitative use of passive solar energy, the creation of natural ventilation and the most efficient use of daylight. It is proposed to introduce vertical gardening and the creation of landscape spaces inside the objects to improve indoor air quality and control the microclimate [3].

The central theory of landscape ecology is derived from the "Theory of Island Biogeography" by MacArthur and Wilson. This work considered the totality of flora and fauna on the islands as a result of colonization from the continental support and stochastic extinction.

Geomorphology, the science of relief, its appearance, origin, history of development, modern dynamics and patterns of distribution were also considered to determine the territory. Geomorphology studies the history and dynamics of terrain changes, predicts future changes, which will allow you to choose an area for an eco-city with greater stability.

Also taking into account the data studied during the survey the main qualities were selected as shown in Figure 1



Figure1. Main qualities when choosing a territory [photo authors]

Thus, the main aspects were:

1. Geographical location (near the capital, near major cities, in the central part of the country, in the border region, the climate is better where it is warmer);
2. Good environmental conditions (no environmentally hazardous, harmful production, etc.);
3. Relief. The most favorable is the relief with a surface slope from 0.5 to 10%

Summing up the results of the selection, the territory near the capital, the lake, was chosen Zhaltyrkol, which met the most criteria.

The methodology

In this article, to identify the principles of the application of green construction in Kazakhstan, mixed research methods were used: interviews, observations, analysis of documents, as well as an ecological and geographical approach combining the analysis of physical, geographical and environmental characteristics of territories.

The considered area for the eco-city landscape is located 3-5 km from Astana – Lake Zhaltyrkol in Figure 2. The absolute height is 377 meters above sea level. The climate is cold-temperate, with good humidity. The average annual air temperature is positive and is about +3.9°C. The average monthly air temperature in July reaches +19.8°C. The average monthly temperature in January is about -14.2°C. The average annual precipitation is about 440 mm. Most of the precipitation falls in the period from May to August [4].

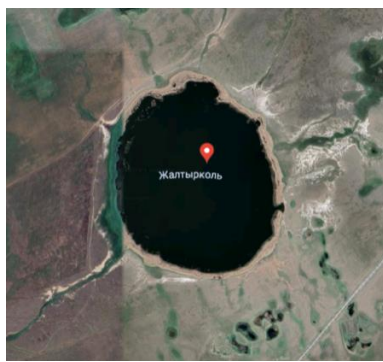


Figure2. Zhaltyrkol Lake [googlemap photo]

Findings/Discussion

In the course of the study, a survey was conducted to determine people's attitudes towards environmental management.

To select and analyze the territory for the construction of an eco-city, interviews were conducted with designers, designers and topographers. There are very many free territories in Kazakhstan that are completely environmentally sustainable and stable. 13 people from project organizations participated in the interview. To assess the structure of research work, the methods used in building construction and project work, designers were asked the following questions:

1. Which reservoir is suitable for building an eco-city?
2. What criteria should be considered when choosing a territory?
3. Impact of remoteness on construction.
4. Is it important to have communications?
5. It would be beneficial to consider the environmental assessment.
6. What is the purpose of an eco-city?
7. The construction of an eco-city requires a significant financial investment.
8. To what extent is landscape design a significant consideration?

9. How to preserve the ecological environment?

Table 2. Analysis of Responses by Key questions

Questions	Answers
Study the ecological situation of Kazakhstan	10
Make projects with an impact on health	13
Take into account the importance of preserving the ecological environment of the area	13
Study modern and harmless materials	10
Take into account the prospects for the development of the city	
Design landscape design to preserve the ecological environment	

As can be seen from the data presented in the table, all interviewers are familiar with environmental problems and prospects for urban development in the future. The majority of respondents say that now the environmental section must be taken into account during the design examination. They also take into account the landscape, because according to the law, when cutting down a tree during construction, you need to plant five.

When designing new ecosystems, landscape architecture is a related area in attempts to create and define translational strategies for restoring and preserving ecological functions. As cities become more crowded and polluted, eco-landscape design is attracting more attention. Open spaces play a vital role in improving the natural environment, as well as the physical and mental health of citizens [5] Thus, the preservation of the ecological environment of the area during construction is the main task.

When building an eco-city, the necessary infrastructure was taken into account: shopping centers, chain stores and shops within walking distance, an outpatient clinic, a kindergarten, a secondary school, a precinct, a center for early development and creativity, a sports center, and regular transport links to the city. Now, according to modern state standards, the requirements for construction, improvement and design have increased, which has led to new methods of implementation.

Taking into account the "Environmental Code of the Republic of Kazakhstan" and "Environmental Protection", the optimal implementation method was chosen:

Impact on water. In construction, it is used for mixing mortars, slaking lime, preparing concrete, watering rubble stone and bricks in hot or windy weather. There is underground water (ground, key, drainage, well) and surface water (river, swamp, lake, sea). All these waters are suitable for construction work.

The quality of water depends on the conditions of its formation, the composition of the soil and the degree of pollution by industrial wastewater [6]. A closed water supply cycle with purification stages was chosen as the solution.

Influence on flora and fauna. During construction, the priority is always to preserve the local ecosystem, and in particular the preservation of trees. According to Environmental Protection, when one tree is cut down during construction, five trees are planted, or the tree is transplanted when it is suitable.

The impact on the soil is also taken into account, since the foundation is first built during the construction of buildings. The thickness of the fertile soil layer varies from 5 to 15 mm. According to the norms, the fertile layer is transported and stored in special temporary dumps (piles).

Conclusion

Summing up the results of the study, it should be noted that the methods of eco-friendly implementation of objects in the new territory were revealed. The trend of "green" construction in Kazakhstan is starting to gain momentum: new draft laws, information and scientific bases are being released. The President's order on expanding legislative incentives for saving energy and water resources, using "green" technologies and developing eco-tourism attached particular importance to the topic. In October 2013, the Kazakhstan Green Building Council KazGBC was officially launched KazGBC, one of the main bodies leading the process of implementing and distributing this concept [7].

Kazakhstan is only at the initial stage of "green" development, which aims to achieve a new sustainable and efficient economic model by 2050. The plans that our State is building are based on the rational use of natural resources [8].

The construction sector in Kazakhstan is developing in accordance with global trends. The national economy is increasingly focused on the optimization and efficiency of the use of resources, including natural resources, which is one of the priorities of the "green economy". Studies show that urban development is a priority area for implementing "green" principles in the economy, along with industry, energy, transport and infrastructure, and agriculture. The concept of "green" construction is based on the idea of rational use of energy and material resources during construction.

The contribution of the authors

Samuratova Tatigul – significant contribution to the concept or design of the work; collection, analysis or interpretation of the results of the work, approval of the final version of the article for publication

Akhmetova-Abdik Gulzhanat – writing a text and/or critically reviewing its content.

Omarbekova Nasgul – writing a text and/or critically reviewing its content.

Yeziyeva Mariya – writing a text and/or critically reviewing its content.

Yerbolkyzy Gulim – writing a text.

Suyundykova Дамиля – writing a text.

References:

1. Air quality. Air pollution [Electron. resource]. – 2023 - URL: <https://www.airkaz.org/pm25.php>
2. Lake Zhaltyrkol. Assessment of the project implementation area [Electron. resurs]. – 2023 – URL: <http://ru.esosedi.org/KZ/AKM/1000129470/zhaltyirkol/>
3. Samuratova T. K. Energy efficient environment in architecture. E3S Web of Conferences 116, 00031 (2019) ASEE19.
4. Avrorin A.V. Ekologicheskoe domostroenie [Ecological housing construction]. Problems of energy saving. Ecology. Series analytical reviews of world literature. 1997, 43,1-71.
5. GOST 54964-2012 "Conformity assessment. Environmental requirements for real estate objects"
6. Gaevskaya Z.A., Lazareva Yu.S., Lazarev A.N. Problemy vnedreniya sistemy "zelenykh" standartov [Problems of implementing the system of "green" standards]. - 2015. - №16. - С.145-152.
7. Leontovich A.V. On the basic concepts of the concept of development of research and project activities of students. Research work of schoolchildren. 2003, 4, 33-35 notable activities of students. Research Workashkolnikov. 2003,4,33-35
8. Таурбаева С.Қ. Исследование принципов зеленого строительства на примере создания экогорода в Казахстане. Магистерская диссертация на соискание степени магистра. По специальности 7М02121-Дизайн (научно-педагогическое направление). Астана, 2023. 124 с.

**Т.К. Самуратова¹, Г.А. Ахмет-Абдик¹, Н. Омарбекова², М. Изиева³, Г. Ерболкызы¹,
С. Суюндыкова¹**

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

²Қарағанды медицина университеті, Қарағанды, Қазақстан

³Акдениз университеті, Анталия, Түркия

Қазақстандағы экоқаланың негізгі белгілері: даму перспективалары

Андатпа. Бұл мақала Қазақстандағы экоқаланың құрылысы мен даму перспективаларына арналған. Әртүрлі шолу үшін ең тиімдісі ретінде аралас зерттеу әдісі таңдалды. Мақсаты: Қазақстан аумағындағы эко қаланың негізгі белгілерін анықтау. даму перспективалары. Тапсырма – Қазақстандағы экоқаланың негізгі белгілерін: даму перспективаларын теориялық тұрғыдан анықтау. Құрылыс жүйесі, қаланың инфрақұрылымы, ландшафты дизайны талданады. Жүргізілген зерттеулер негізінде авторлар құрылыстың жобалық және ғылыми-зерттеу қызметін жетілдіру қажеттілігін анықтап, негіздеді. Аумақты таңдаудың маңыздылығы сипатталған. Құрылыс үшін орынды таңдау кезінде аумақтың принциптері мен қасиеттері сипатталған. Құрылыс кезінде аумақтың экологиялық ортасын сақтаудың маңыздылығы туралы қорытынды жасалады. Қоршаған ортаны қорғау әдістері және олардың маңызы сипатталады. Сондай-ақ құрылыстың ауаның күйіне әсері, оның адам денсаулығына және қоршаған ортаға тигізетін әсері сипатталады. Эксперименттік зерттеу жүргізіліп, сауалнама нәтижелері ұсынылды, оның мақсаты Қазақстанның экологиялық жағдайын және болашақ экоқала жобасын анықтау болды. Зерттеулер көрсеткендей, қаланы дамыту «жасыл» өнеркәсіп, энергетика, көлік және инфрақұрылым және ауыл шаруашылығымен қатар экономикадағы қағидаттар қамтылған.

Түйін сөздер: жобалық қызмет, жоба, жасыл құрылыс, тұрақты даму, құрылыс, экоқала

**Т.К. Самуратова¹, Г.А. Ахмет-Абдик¹, Н. Омарбекова², М. Изиева³, Г. Ерболкызы¹,
С. Суюндыкова¹**

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан,

²НАО Карагандинский медицинский университет, Караганда, Казахстан

³Университет Акдениз, Анталья, Турция

Основные особенности экогорода на территории Казахстана: перспективы развития

Аннотация. Данная статья посвящена перспективам строительства и развития экогорода в Казахстане. Для разностороннего обзора был выбран смешанный метод исследования как наиболее эффективный. Цель: выявить основные черты экогорода на территории Казахстана. перспективы развития. Задача: теоретически выявить основные черты экогорода в Казахстане: перспективы развития. Проанализированы система строительства, инфраструктура города, ландшафтный дизайн. На основе проведенного исследования авторами выявлена и обоснована необходимость совершенствования проектно-изыскательской деятельности строительства. Описана важность выбора территории. Описаны принципы и качества территории при выборе места под строительство. Сделан вывод о важности сохранения экологической среды территории при строительстве. Описаны методы сохранения окружающей среды и их значение. Также описано влияние строительства на состояние воздуха, его воздействие на здоровье человека и окружающую среду. Проведено экспериментальное исследование и представлены результаты опроса, целью которого было выявление экологической ситуации Казахстана и проекта будущего экогорода. Исследования показывают, что развитие городов является приоритетным направлением внедрения «зеленых» принципов в экономику, наряду с промышленностью, энергетикой, транспортом и инфраструктурой, сельским хозяйством.

Ключевые слова: проектная деятельность, проект, зеленое строительство, устойчивое развитие, строительство, экогород

References:

1. Air quality. Air pollution [Electron. resource]. – 2023 - URL:<https://www.airkaz.org/pm25.php>
2. Lake Zhaltyrkol. Assessment of the project implementation area [Electron.resurs].–2023 – URL:<http://ru.esosedi.org/KZ/AKM/1000129470/zhaltyirkol/>
3. Samuratova T. K. Energy efficient environment in architecture. E3S Web of Conferences 116, 00031 (2019) ASEE19.
4. Avrorin A.V. Ekologicheskoe domostroenie [Ecological housing construction]. Problems of energy saving. Ecology. Series analytical reviews of world literature. 1997, 43,1-71.
5. GOST 54964-2012 "Conformity assessment. Environmental requirements for real estate objects"
6. Gaevskaya Z. A., Lazareva Yu. S., Lazarev A. N. Problemy vnedreniya sistemy "zelenykh" standartov [Problems of implementing the system of "green" standards]. - 2015. - №16. - С.145-152.
7. Leontovich A.V. On the basic concepts of the concept of development of research and project activities of students. Research work of schoolchildren. 2003, 4, 33-35 notable activities of students. Research Workashkolnikov. 2003,4,33-35
8. Taubayeva S.K. A study of the principles of green construction based on the creation of an eco-city in Kazakhstan. Master's thesis for a master's degree. Specialty 7M02121-Design (scientific and pedagogical direction). Astana, 2023. 124 p.

Information about authors:

Samuratova T.K. – corresponding author, project manager, doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University Astana, Kazakhstan, e-mail: Samyratovatk@mail.ru

Akhmet-Abdik G.A. – PhD student in physics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, email: gulzhanatakhmet@gmail

Omarbekova N. – Master of Educational Sciences, NAO Medical University of Karaganda, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: nas_nk@mail.ru

Yeziyeva M. – Master of Science in Education, Akdeniz University, Antalya, Türkiye.

Yerbolkyzy G. – Master's student, Faculty of construction and Architecture, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, e-mail: Suyundykova.damilya@bk.ru

Suyundykova S. – Master's student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: Suyundykova.damilya@bk.ru

Самуратова Т.К. – автор для корреспонденции, доктор педагогических наук, асс. профессор, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: Samyratovatk@mail.ru

Ахмет-Абдик Г.А. – докторант по специальности физика, Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, email: gulzhanatakhmet@gmail

Омарбекова Н. – магистр педагогических наук, НАО Карагандинский медицинский университет, Қарағанды, Қазақстан. e-mail: nas_nk@mail.ru

Изиева М. – Магистр педагогических наук, Университет Акдениз, Анталья, Турция.

Ерболкызы Г. – Магистрант ЕНУ Л.Н. Гумилева, Астана, Қазақстан, e-mail: Suyundykova.damilya@bk.ru

Сүйіндікова Д. – Магистрант ЕНУ Л.Н. Гумилева, Астана, Қазақстан

Самуратова Т.К. – хат-хабар авторы, педагогика ғылымдарының докторы, асс. профессор, Л.Н. Гумилев ат. Еуразия ұлттық университеті, Астана, Казахстан, e-mail: Samyratovatk@mail.ru,

Ахмет-Абдик Г.А. – физика мамандығының докторанты, Л.Н. Гумилев ат. Еуразия ұлттық университеті, Астана, Казахстан, email: gulzhanatakhmet@gmail

Омарбекова Н. – педагогика ғылымдарының магистрі. КЕАҚ Қарағанды медицина университеті, Қарағанды, Қазақстан. e-mail: nas_nk@mail.ru

Изиева М. – педагогика ғылымдарының магистрі, Акдениз университеті, Анталья, Түркия.

Ерболкызы Г. – Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ магистранты, Астана, Қазақстан, e-mail: Suyundykova.damilya@bk.ru

Сүйіндікова Д. – Л.Н. Гумилев ат. Еуразия ұлттық университетінің магистранты, Астана, Қазақстан, e-mail: Suyundykova.damilya@bk.ru



Copyright: © 2024 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>)



IRSTI 67.23.13

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-149-4-32-44>

Article

Цифровизация архитектурной и градостроительной деятельности в Казахстане: преобразование городского пространства

Т.Т. Мусабаяев¹, А.Т. Мусабаяева², Ж.М. Ускембаева³, А.А. Тайжанова*³

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³РГП «Госградкадастр», Астана, Казахстан

(E-mail: rgp.gosgradkadastr@bk.ru)

Аннотация. В данной статье авторами рассматривается влияние цифровизации архитектурной и градостроительной деятельности на преобразование городского пространства в Казахстане. Изучение и внедрение цифровых технологий в эти области с учетом современных вызовов и потребностей общества может привести к значительным изменениям в городском пространстве и способствовать его преобразованию, улучшить эффективность проектирования, повысить качество и безопасность строительства, сократить сроки и затраты на строительство, улучшить инфраструктуру и сделать городское пространство более функциональным и комфортным для его жителей. Преобразование городского пространства в Казахстане является важным направлением развития городов, где цифровизация может сыграть значительную роль. Прозрачность процессов в архитектурной и градостроительной деятельности может быть значительно увеличена благодаря информационным платформам и цифровым базам данных. Цель данной статьи состоит в том, чтобы изучить современные цифровые технологии и их влияние в преобразовании городского пространства. В данной работе фокус направлен на использование географических информационных систем (ГИС), информационных моделей зданий (BIM). В частности, авторами выделены возможности использования геопортала государственного градостроительного кадастра Республики Казахстан в преобразовании городского пространства. Цифровые базы данных способствуют повышению прозрачности процессов, так как они обеспечивают хранение и обмен информацией между участниками проекта, способствуют эффективному управлению данными. Внедрение таких технологий позволяет следить за всем процессом строительства, начиная от начального этапа проектирования и заканчивая завершением строительства и эксплуатацией объекта.

Ключевые слова: цифровизация, преобразование городского пространства, географические информационные системы (ГИС), геопортал, информационные модели зданий (BIM).

Поступила 01.02.2024. Доработана 13.08.2024. Одобрена 07.12.2024. Доступна онлайн 31.12.2024

¹*автор корреспонденции

Введение

Технологические разработки продолжают проникать в различные сферы деятельности, в том числе в архитектурно-градостроительный сектор. Казахстан активно следует этой мировой тенденции, внедряя цифровые инновации для оптимизации градостроительных процессов и повышения качества городской среды.

Основным этапом к цифровому преобразованию архитектурно-градостроительной деятельности является сокращение документов на бумажных носителях за счет создания единого геопортала цифровых инфраструктурных данных. Результатом цифровизации градостроительной документации должны стать электронные, цифровые и графические материалы, которые позволят систематизировать и структурировать данные городского преобразования и состояния территории [1].

Преобразование городского пространства – это процесс изменения и модернизации различных аспектов городской среды с целью создания более функционального, удобного и привлекательного места проживания, работы и отдыха. Этот процесс включает в себя различные аспекты, такие, как архитектурные и градостроительные изменения, реконструкция зданий, создание новой инфраструктуры, ремонт дорог и совершенствование системы общественного транспорта и т.д.

В целом преобразование городского пространства – важный процесс, направленный на создание устойчивых и комфортных городов.

Процесс городского пространственного планирования основан на структурированной цифровой информации. Качественно собранная цифровая информация о городском пространстве входит в градостроительный цикл (планирование, проектирование и реализация). На каждом этапе цикла для реализации градостроительных решений важен комплекс программных средств и технологий обработки исходной информации.

Таким образом, цифровизация архитектурной и градостроительной деятельности – это формирование цифровой среды и построение цифровой информационной модели территории городского пространства [1].

В научной среде часто подчеркивается важная роль ГИС в контексте умных городов. Так, в статье «GIS for Smart Cities» ГИС используются для сбора, анализа, управления и визуализации географических данных с целью оптимизации управления городской инфраструктурой и ресурсами. ГИС используются в умных городах в качестве системы управления транспортом, энергоресурсами, отходами, обеспечения безопасности и общественного порядка. ГИС применяют в развитии умных зданий и районов, а также в управлении городской зеленой зоной и окружающей средой [3].

В работе «Принципы организации геопортала на основе данных ДЗЗ для управления территориальным развитием» авторами проведен обзор существующих геопорталов различного уровня и назначения [4].

Таким образом, данное исследование раскрывает влияние цифровизации при помощи ГИС и BIM-технологий на городское преобразование с их сравнительным анализом.

Методология

Изучение данной научной работы основано на тематическом исследовании и охватывает два основных метода:

Анализ научно-исследовательских и обзорных научных статей. В этом случае проведен анализ существующей литературы по теме цифровизации в архитектурной и градостроительной деятельности, включая исследовательские работы, обзоры, статьи в научных журналах, информационные ресурсы. Анализ всех изучаемых материалов позволяет понять текущее состояние исследований в данной области, выявить ключевые тенденции, проблемы и направления развития в архитектуре и градостроительстве. Данный анализ составил теоретическую базу научной работы на основании углубленного аналитического сравнения изученных работ.

Практическое изучение ГИС – геопортала государственного градостроительного кадастра Республики Казахстан. Этот метод включает в себя непосредственное использование геопортала для получения информации о состоянии градостроительства в Казахстане, анализа данных, доступных через портал, и оценки его функциональности эффективности. Практическое изучение позволяет получить конкретное представление о том, как используется ГИС в контексте градостроительства в стране. Это позволило авторам оценить функциональные возможности системы, ее способность обрабатывать различные виды географических данных и предоставлять информацию для пользователей. Изучение ГИС позволяет оценить доступность и качество данных, предоставляемых через эту систему. Практическое использование ГИС позволяет понять процессы взаимодействия между различными участниками градостроительного процесса. Изучение ГИС также позволяет выявить проблемы и сложности, с которыми сталкиваются пользователи при ее внедрении и использовании в практике.

Таким образом, сочетание анализа научных статей и практического изучения ГИС позволяет получить полное представление о текущем состоянии цифровизации в архитектурной и градостроительной деятельности в Казахстане в контексте преобразования городского пространства.

Важную роль в развитии цифровой среды и преобразовании городского пространства играют информационно-коммуникационные технологии. В градостроительном понимании – это интеграция процессов, методов взаимодействия и технологии получения информации из городского цифрового пространства. Исходя из этого, цифровые технологии также активно внедряются в области геопро пространственного анализа географических информационных систем (ГИС). Улучшение системы городского пространственного преобразования невозможно без применения современных методов геообработки данных, пространственного анализа и геовизуализации на основе современных ГИС.

Географическая информационная система (ГИС) – программная система, обеспечивающая сбор, хранение, накопление, анализ и распространение пространственной

информации о Земле, объектах земной поверхности, природных, техногенных и социальных процессах и явлениях реального мира [2].

ГИС позволяют архитекторам и градостроителям анализировать географические данные, оптимизировать территориальное планирование, управлять городской инфраструктурой и решать проблемы транспортной логистики. Это способствует более эффективному использованию городского пространства и созданию более устойчивой городской среды.

Технологии ГИС быстро развиваются во всем мире, поскольку они обеспечивают комплексную цифровую среду, повышают эффективность и безопасность городских систем, усиливают участие горожан в городском развитии. Все это основано на использовании геопространственных данных, касающихся городской среды, природной среды и городских услуг. Успешное преобразование городского пространства требует разработки цифровой системы, которая сможет управлять геопространственными данными и визуализировать их в удобной для пользователя среде. Географическая информационная система предлагает расширенные и удобные возможности для преобразования городского пространства.

Геопространственные данные касаются городской среды, такой, как инфраструктура, инженерные коммуникации, природная среда (биоразнообразие, зеленые насаждения, качество воздуха, почвы, воды) и городские услуги (транспорт, муниципальные отходы, водные ресурсы, энергия, здравоохранение и образование).

ГИС-технологии позволяют городам добиться более гибкого управления, которое улучшает качество жизни горожан, способствует экономическому развитию, повышает привлекательность города. Анализ этих данных позволяет повысить эффективность городской системы, а также качество жизни и ее безопасность. Цифровые данные обеспечивают лучшее понимание поведения городских систем (инфраструктуры, государственных служб, реагирования на чрезвычайные ситуации и т.д.) [3].

Возможность визуализации и пространственного анализа отличают ГИС от других информационных систем и обеспечивают уникальные возможности для ее применения в широком спектре задач [10], [11].

В Казахстане активно развивается инфраструктура пространственных данных, обеспечивающая доступ к геоинформационным ресурсам и метаданным через специализированные ГИС-порталы. Ключевой составляющей этой инфраструктуры является геопортал государственного градостроительного кадастра, предоставляющий пользователям возможность эффективного анализа и визуализации географической информации. Он не только способствует улучшению принятия решений в различных секторах, но и обеспечивает удобный доступ к пространственным данным через современные ГИС-порталы, содействуя интеграции и обмену информацией (рис. 1).

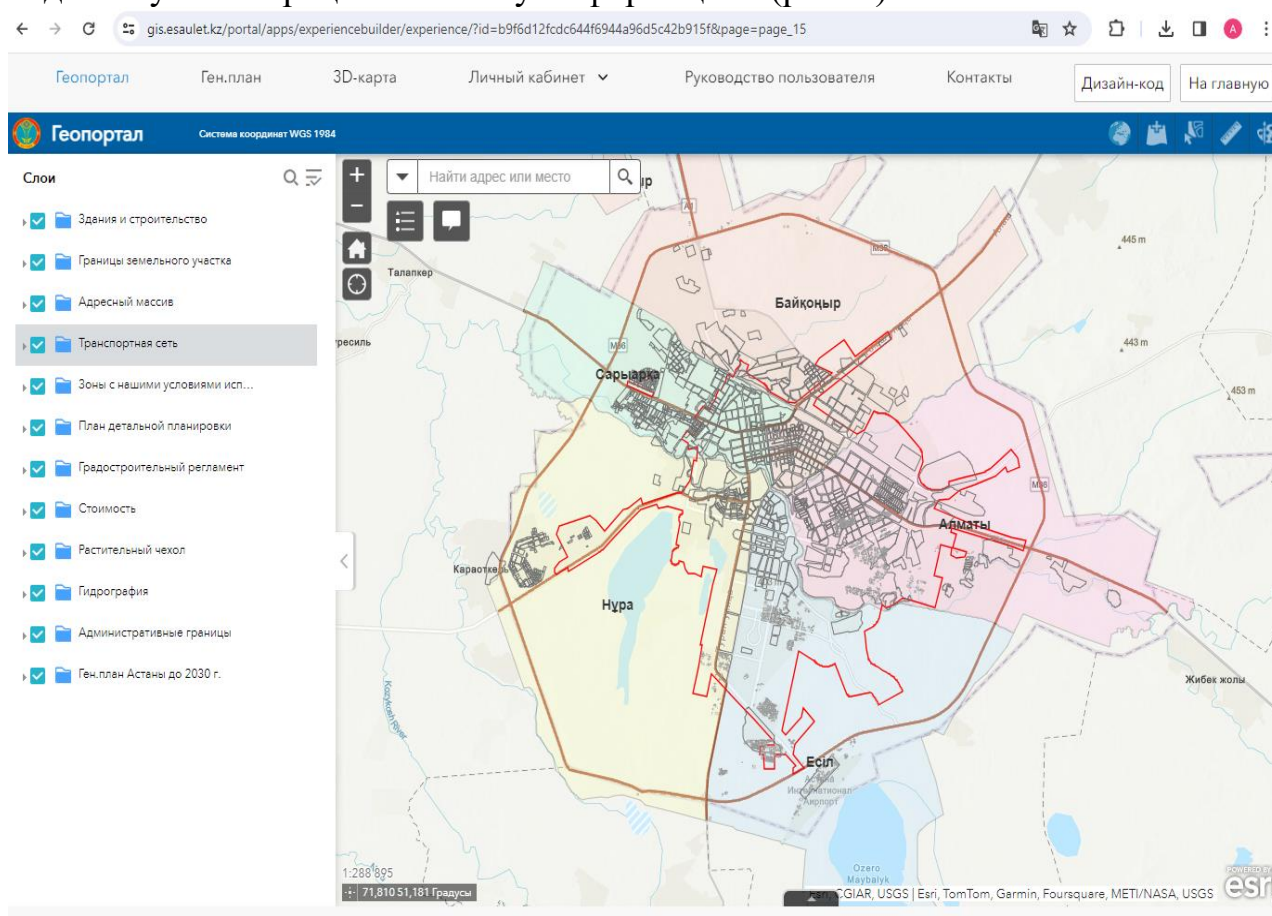


Рисунок 1. Сайт геопортала gis.esaulet.kz. на примере города Астаны.

Геопортал – это инновационная информационно-коммуникационная платформа для геоданных, информации и геосервисов. Современное определение термина «геопортал» международно признано и рекомендовано для использования инфраструктуры пространственных данных [4].

Результаты и обсуждение

Действующий геопортал государственного градостроительного кадастра Республики Казахстан предоставляет широкий спектр геопространственных данных. Геопортал играет важную роль в оптимизации процесса территориального планирования, мониторинге изменений в городской инфраструктуре и взаимодействии с обществом. Он предоставляет уникальные возможности для эффективного управления и планирования развития городов и территорий. Этот геоинформационный ресурс объединяет данные градостроительных проектов, земельных участков, строительных объектов и других аспектов градостроительства в единую платформу, что обеспечивает доступ к актуальным и достоверным данным (рис. 2).

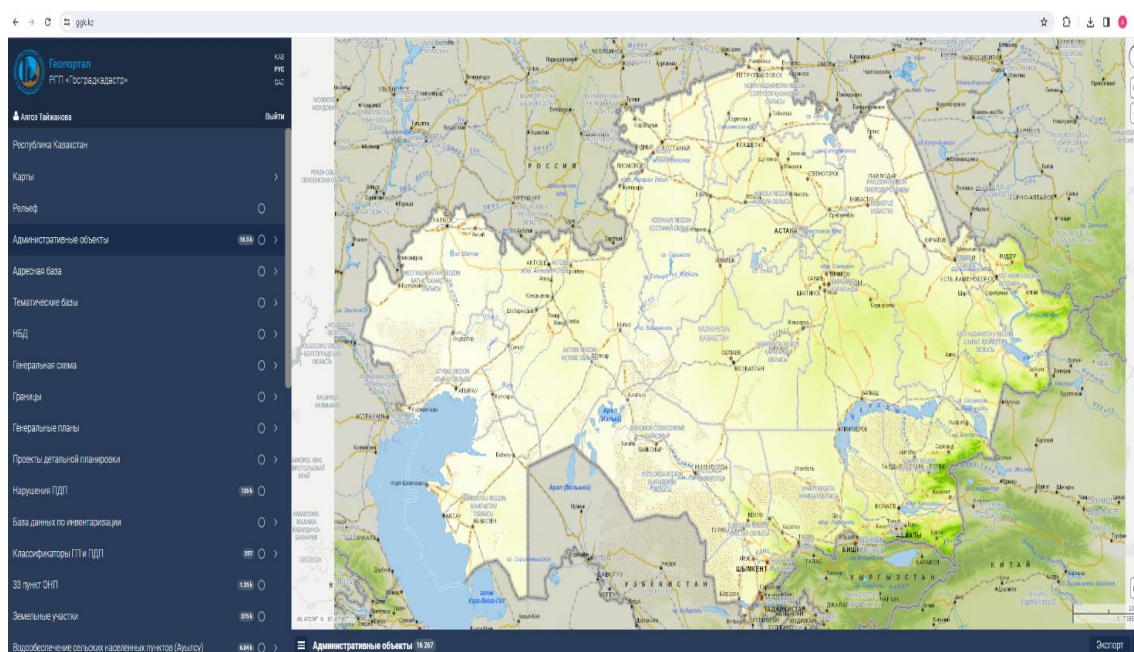


Рисунок 2. Сайт геопортала ggk.kz

Геопортал государственного градостроительного кадастра (ggk.kz.) – это веб-сервис, содержащий пространственные данные республиканского, областных, районных и базовых уровней градкадастра. С точки зрения пользователя, геопортал представляет собой «единое окно» доступа к инфраструктурным данным. Он позволяет пользователям визуализировать пространственные данные градпроектов (генпланы и ПДП), зданий и сооружений, улично-дорожных сетей, объектов благоустройства (рис. 3.) [5].

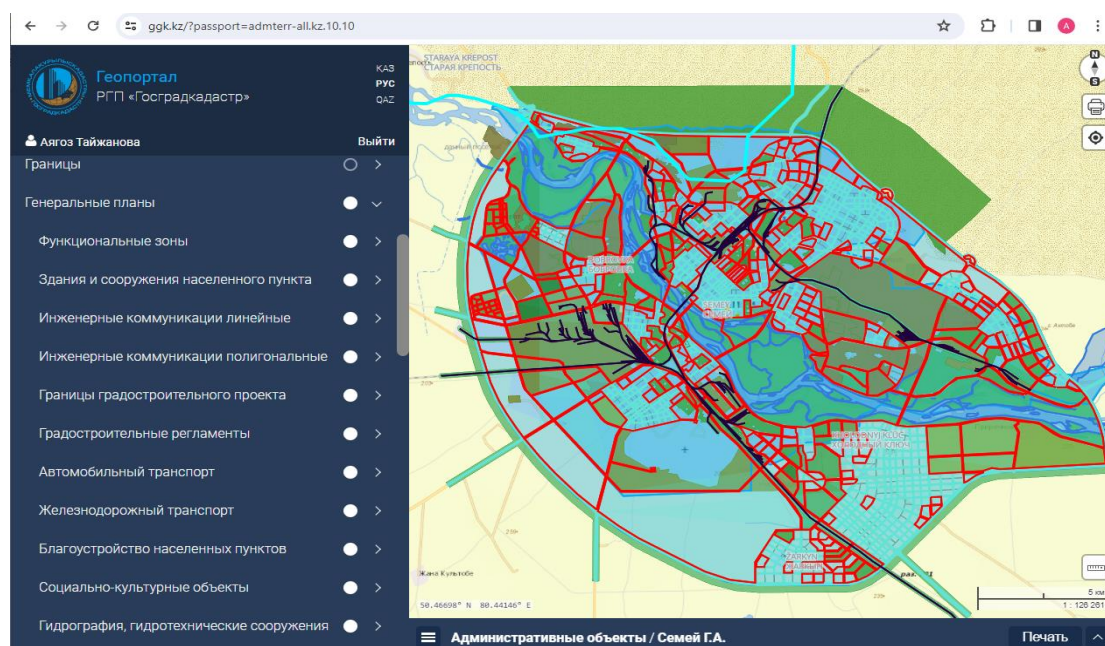


Рисунок 3. Генеральный план (ГП) на примере г. Семей. Сайт ggk.kz

Всем пользователям без авторизации доступны к просмотру генпланы и ПДП всех населенных пунктов страны. Авторизованные пользователи (в зависимости от присвоенной роли) могут просматривать сведения инженерных сетей, исходно-разрешительных документов, объектов населенных пунктов. Зарегистрированные пользователи могут редактировать пространственные данные, создавать новые объекты и вносить атрибутивную информацию в созданные данные. Также имеется возможность экспорта атрибутивных данных в формате xml (экспорт возможен для пользователей – сотрудников ГГК и определенных сотрудников МИО) (рис. 4) [6].

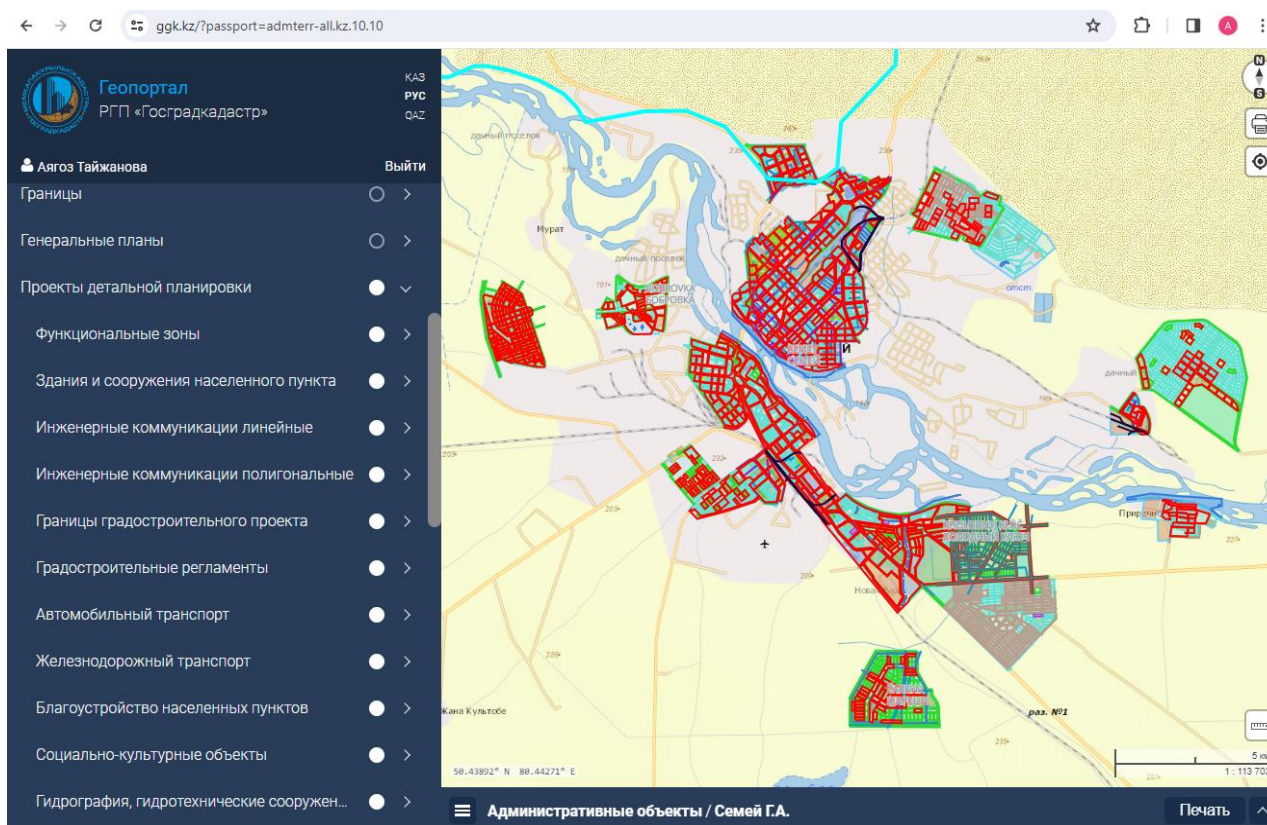


Рисунок 4. План детальной планировки (ПДП) на примере г. Семей.
Сайт ggk.kz

Сотрудникам ГГК доступен функционал аналитики, основанной на модуле Kibana. Аналитический модуль позволяет просматривать информационные дашборды, графики и таблицы на основе загруженных данных.

Картографическая основа может меняться в зависимости от целей пользователей – можно выбирать Google карты, Google спутник, Яндекс спутник и т.д. Все слои, которые загружены на геопортал, могут подключаться поочередно, либо вместе с другими.

Доступ к геопорталу путем создания учетных записей предоставляется местным исполнительным органам (МИО) и субъектам естественных монополий (СЕМ) для

размещения и актуализации информации в системе государственного градостроительного кадастра и обеспечения эффективного управления территориальным развитием и инфраструктурой.

В настоящий момент на геопортале проведена техническая доработка существующего инструментария и внедрение новых элементов интерфейса, таких, как: подписание ЭЦП, внедрение условных обозначений для карт, внедрение инструментов загрузки/выгрузки данных, модификация инструментов аналитики, реализация модуля администрирования, реализация формы обратной связи, доработка интерфейса личного кабинета пользователя.

Один из ключевых аспектов использования геопортала государственного градостроительного кадастра – это возможность анализировать развиваемую территорию. С помощью геопортала градостроители и городские планировщики могут получить доступ к информации земельных участков, строительных объектов, границ застройки и других важных параметров. Это позволяет проводить детальные анализы существующей застройки и строить модели будущего развития, учитывая факторы пространственного размещения и инфраструктуру.

В целом геопортал позволяет решать масштабные задачи: интегрирование пространственных данных, on-line предоставление доступа к необходимой информации, систематизирование и анализ пространственной информации.

Еще немаловажной актуальной инновационной технологией, влияющей на цифровизацию архитектурно-градостроительного сектора, является технология BIM (от Building Information Modeling).

Информационное моделирование зданий (BIM) – технология, относящаяся к проектированию зданий и сооружений. Технология BIM может быть использована для создания виртуальных моделей зданий и сооружений и их соединения с другими методами информационного моделирования, используемыми в управлении жизненным циклом проекта. Иными словами, BIM – это виртуально созданная копия здания [7].

Сегодня информационный обмен является ключевым элементом успешных строительных проектов. С технологией BIM можно координировать ряд важных задач: сроки, графики, наличие материалов, количество необходимых специалистов и ресурсов. Вместе с тем, работа всех участников информационного моделирования здания позволяет избежать потери и искажения данных при обмене информацией. Это в свою очередь облегчает контроль над всеми этапами строительства и снижает вероятность ошибок [8].

Построенная информационная модель здания становится основой для подготовки всех видов рабочей документации, проектирования, технических и экономических расчетов, оборудования и организации строительства самого здания и последующей эксплуатации. Информация, содержащаяся в данной модели здания может быть дополнена или заменена в соответствии с текущим состоянием здания [9].

Таким образом, информационное моделирование зданий (BIM) обеспечивает быстрый доступ ко всей информации здания и связанных с ним параметров на всех этапах жизненного цикла здания.

Заключение

Данное исследование подтверждает, что изученные технологии в области цифровизации архитектурной и градостроительной деятельности являются основой для построения городской цифровой модели. Результаты исследования показывают, что эти технологии обеспечивают сбор и анализ различных видов географических данных, интеграцию информации из различных источников, визуализацию и моделирование городской среды, а также принятие решений и управление городским пространством. ГИС обычно используются для построения цифровой модели городских «горизонтальных компонентов» (городские сети, транспортные средства и природная среда), а BIM используются для описания «вертикальных компонентов» (здания). Комбинация ГИС и BIM обеспечивает мощный инструмент для преобразования городского пространства с географической привязкой и визуализацией этих данных.

Цифровизация и комбинация упомянутых систем и моделей влияет также на взаимодействие граждан с городской средой. Так, онлайн-платформы предоставляют жителям возможность участвовать в процессах градостроительства, высказывать свои предложения и отзывы, а также получать актуальную информацию о городских проектах. Это способствует созданию более открытой и взаимодействующей городской среды, соответствующей потребностям и ожиданиям населения.

Таким образом, цифровизация архитектурной и градостроительной деятельности в стране играет ключевую роль в улучшении процессов проектирования, строительства, оптимизации использования городских пространств и повышении качества жизни граждан. Внедрение современных технологий открывает новые возможности для создания инновационных и устойчивых городских сред, соответствующих требованиям современного общества. Результаты и выводы данного исследования могут быть использованы как основа для дальнейшего изучения и применения новых и усовершенствованных методов и технологий в данной области.

Вклад авторов

Мусабаев Т.Т. – концепция, анализ, редактирование, утверждение текста.

Мусабаева А.Т. – сбор данных, визуализация, оформление.

Ускембаева Ж.М., Тайжанова А.А. – сбор данных, анализ, написание текста.

Список литературы

1. Дроботова Н.В. Цифровизация градостроительной деятельности в Республике Беларусь // Градостроительство и ландшафтная архитектура. Раздел 2. – 2020. – С. 83-88.
2. Приказ Министра национальной экономики Республики Казахстан от 20 марта 2015 года № 244 «Об утверждении Правил ведения и предоставления информации и (или) сведений из государственного градостроительного кадастра Республики Казахстан». [Электронный ресурс] – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500011111> (дата обращения: 10.01.2024).
3. GIS for Smart Cities. ArcIndia News. – 2015. – Vol.9. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.esri.in/content/dam/distributor-share/esri-in/pdf/vol9-issue1.pdf> (дата обращения: 18.01.2024).

4. Андреев С.М., Красовский Г.Я., Радчук В.В. Принципы организации геопортала на основе данных ДЗЗ для управления территориальным развитием // Экологічна безпека. Розділ 1 – 2008. – С. 51-76.

5. Платформа Единых геоинформационных инфраструктурных данных государственного градостроительного кадастра Республики Казахстан. [Электронный ресурс] – URL: <https://ggk.kz/> (дата обращения: 18.01.2024).

6. Требование интерфейса для пользователей: главная страница, интерфейсное меню, личный кабинет пользователя // Внутренний документ РГП «Госградкадастр».

7. BIM-технологии: информационное моделирование зданий. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.novosoft.ru/consulting/bim-cde> (дата обращения: 16.01.2024).

8. BIM Информационное моделирование зданий. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.magicad.com/ru/bim/> (дата обращения: 16.01.2024).

9. Дубинин А.А. Основные понятия и принципы BIM-технологии в проектирование зданий и сооружений. Строй инфо. Информационно строительный веб-портал [Электронный ресурс] – URL: <https://stroyinfo.kz/eto-interesno/284-osnovnye-ponyatiya-i-printsipy-bim-tekhnologii-v-proektirovanie-zdanij-i-sooruzhenij.html> (дата обращения: 16.01.2024).

10. Гусева А.В. Геоинформационные системы [Электронный ресурс] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geoinformatsionnye-sistemy/viewer> (дата обращения: 07.06.2024).

11. Торговкин Я.И. Географические информационные системы в научных исследованиях [Электронный ресурс] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geograficheskie-informatsionnye-sistemy-v-nauchnyh-issledovaniyah/viewer> (дата обращения: 07.06.2024).

Т.Т. Мусабаяев¹, А.Т. Мусабаяева², Ж.М. Ускембаева³, А.А. Тайжанова^{*1}

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

²Л.М. Ломоносов атындағы Мәскеу мемлекеттік университеті, Мәскеу, Ресей

³«Мемқалақұрылыскадастры» РМК, Астана, Қазақстан

Қазақстандағы сәулет және қала құрылысы қызметін цифрландыру: қалалық кеңістікті түрлендіру

Аңдатпа. Бұл мақалада авторлар сәулет және қала құрылысы қызметін цифрландырудың Қазақстандағы қалалық кеңістікті түрлендіруге әсерін қарастырады. Қоғамның қазіргі заманғы сын-қатерлері мен қажеттіліктерін ескере отырып, цифрлық технологияларды зерттеу және осы салаларға енгізу қала кеңістігінде айтарлықтай өзгерістерге әкелуі мүмкін және оның өзгеруіне ықпал етеді, жобалаудың тиімділігін жақсартады, құрылыс сапасы мен қауіпсіздігін жақсартады, құрылыс салудың мерзімдері мен шығындарын азайтады, инфрақұрылымды жақсартады және қала кеңістігін оның тұрғындары үшін функционалды және ыңғайлы етеді. Қазақстандағы қалалық кеңістікті түрлендіру - цифрландыру маңызды рөл атқара алатын қалаларды дамытудың маңызды бағыты болып табылады. Ақпараттық платформалар мен цифрлық деректер қорының арқасында сәулет және қала құрылысы қызметіндегі процестердің ашықтығын едәуір арттыруға болады. Бұл мақаланың мақсаты – қазіргі заманғы цифрлық

технологияларды және олардың қалалық кеңістікті түрлендірудегі әсерін зерттеу боып табылады. Бұл жұмыста фокус географиялық ақпараттық жүйелерді (ГАЗ), ғимараттардың ақпараттық модельдерін (BIM) пайдалануға бағытталған. Атап айтқанда, авторлар қалалық кеңістікті түрлендіруде Қазақстан Республикасының мемлекеттік қала құрылысы кадастрының геопорталын пайдалану мүмкіндіктерін атап өтті. Цифрлық деректер қорлары процестердің ашықтығын арттыруға ықпал етеді, себебі олар жобаға қатысушылар арасында ақпаратты сақтауды және бөлісуді қамтамасыз етеді, деректерді тиімді басқаруға ықпал етеді. Мұндай технологияларды енгізу құрылыстың бастапқы кезеңінен бастап объектіні салуды аяқтау мен пайдалануға беруге дейінгі барлық құрылыс процесін бақылауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: цифрландыру, қалалық кеңістікті түрлендіру, географиялық ақпараттық жүйелер (ГАЗ), геоортал, ғимараттардың ақпараттық модельдері (BIM).

T. Mussabayev¹, A. Mussabayeva², Zh. Uskembayeva³, A. Taizhanova^{*3}

¹*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

²*MSU named after M.V. Lomonosov, Moscow, Russia*

³*RSE «Gosgradkadaster», Astana, Kazakhstan*

Digitalization of architectural and urban planning activities in Kazakhstan: transformation of urban space

Abstract. In this article, the authors examine the impact of digitalization of architectural and urban planning activities on the transformation of urban space in Kazakhstan. The study and implementation of digital technologies in these areas, taking into account modern challenges and needs of society, can lead to significant changes in urban space and contribute to its transformation, improve design efficiency, improve the quality and safety of construction, reduce construction time and costs, improve infrastructure and to make urban space more functional and comfortable for its residents. The transformation of urban space in Kazakhstan is an important area of urban development, where digitalization can play a significant role. Transparency of processes in architectural and urban planning activities can be significantly increased thanks to information platforms and digital databases. The purpose of this article is to study modern digital technologies and their impact in the transformation of urban space. In this work, the focus is on the use of geographic information systems (GIS), building information models (BIM). In particular, the authors highlight the possibilities of using the geoportal of the state urban planning cadastre of the Republic of Kazakhstan in transforming urban space. Digital databases help increase the transparency of processes, as they provide storage and exchange of information between project participants and contribute to effective data management. The introduction of such technologies makes it possible to monitor the entire construction process, from the initial design stage to the completion of construction and operation of the facility.

Keywords: digitalization, transformation of urban space, geographic information systems (GIS), geoportal, building information models (BIM).

References

1. Drobotova N. Digitalization of urban planning activities in the Republic of Belarus // Urban planning and landscape architecture. Section 2. – 2020. – pp. 83-88. [in Russian]
2. Order of the Minister of National Economy of the Republic of Kazakhstan dated March 20, 2015 No. 244 «On approval of the Rules for maintaining and providing information and (or) information from the state urban planning cadastre of the Republic of Kazakhstan» [Electronic resource] – Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500011111> (accessed: 01.10.2024). [in Russian]
3. GIS for Smart Cities. ArcIndia News. – 2015. – Vol.9 – [Electronic resource] – Available at: <https://www.esri.in/content/dam/distributor-share/esri-in/pdf/vol9-issue1.pdf> (accessed: 01.18.2024).
4. Andreev S. Principles of organizing a geoportal based on remote sensing data for managing territorial development // Ecological Bezpeka. Section 1 – 2008. – pp. 51-76. [in Russian]
5. Platform for Unified Geoinformation Infrastructure Data of the State Urban Cadastre of the Republic of Kazakhstan [Electronic resource] - Available at: <https://ggk.kz/> (accessed: 01.18.2024). [in Russian]
6. Interface requirements for users: main page, interface menu, user's personal account // internal document of the RSE «Gosgradkadastr». [in Russian]
7. BIM technologies: building information modeling. [Electronic resource] – Available at: <https://www.novosoft.ru/consulting/bim-cde> (accessed: 01.16.2024). [in Russian]
8. BIM Building information modeling. [Electronic resource] – Available at: <https://www.magicad.com/ru/bim/> (accessed: 01.16.2024). [in Russian]
9. Dubinin A. Basic concepts and principles of BIM technology in the design of buildings and structures. Build info. Information construction web portal [Electronic resource] – Available at: <https://stroyinfo.kz/eto-interesno/284-osnovnye-ponyatiya-i-printsipy-bim-tekhnologii-v-proektirovanie-zdanij-i-sooruzhenij.html> (accessed: 01.16.2024). [in Russian]
10. Guseva A. Geographic information systems [Electronic resource] – Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/geoinformatsionnye-sistemy/viewer> (access date: 06.07.2024). [in Russian]
11. Torgovkin Ya. Geographic information systems in scientific research [Electronic resource] – Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/geograficheskie-informatsionnye-sistemy-v-nauchnyh-issledovaniyah/viewer> (access date: 06.07.2024). [in Russian]

Сведения об авторах:

Мусабаев Т.Т. – доктор технических наук, профессор, академик Национальной инженерной академии Республики Казахстан, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 11, Астана, Казахстан.

Мусабаева А.Т. – магистрант, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, Москва, Россия.

Ускембаева Ж.М. – руководитель Управления инжиниринга данных РГП «Госградкадастр», пр. Мангилик Ел, 8, ВП-18В, г. Астана, Казахстан.

Тайжанова А.А. – ведущий специалист Геоинформационных систем Управления инжиниринга данных РГП «Госградкадастр», пр. Мангилик Ел, 8, ВП-18В, г. Астана, Казахстан.

Мусабаяев Т.Т. – техника ғылымдарының докторы, профессор, Қазақстан Республикасы Ұлыттық инженерлік академияның академигі, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Қажымұқан к-сі, 11, Астана, Қазақстан.

Мусабаяева А.Т. – магистрант, Л.М. Ломоносов атындағы Мәскеу мемлекеттік университеті, Ленин таулары 1, Мәскеу, Ресей.

Ускембаева Ж.М. – «Мемқалақұрылыскадастры» РМК Деректер инжинирингі басқармасының басшысы, Мәңгілік Ел даңғылы, 8, 18В-т.е.ү.ж, Астана қ., Қазақстан.

Тайжанова А.А. – «Мемқалақұрылыскадастры» РМК Деректер инжинирингі басқармасы Геоақпараттық жүйелер бөлімінің жетекші маманы, Мәңгілік Ел даңғылы, 8, 18В-т.е.ү.ж, Астана қ., Қазақстан.

Mussabayev T. – doctor of technical sciences, professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhimukan st., 11, Astana, Kazakhstan.

Mussabayeva A. – master’s student, MSU named after M.V. Lomonosov, Lenin mountains 1, Moscow, Russia.

Uskembraeva Zh. – Head of the Data Engineering Department of the RSE «Gosgradkadastr», Mangilik El Ave. 8, VP-18V, Astana, Kazakhstan.

Taizhanova A. – Leading specialist of Geoinformation Systems of the Data Engineering Department of the RSE «Gosgradkadastr», Mangilik El Ave. 8, VP-18V, Astana, Kazakhstan.



Copyright: © 2024 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 67.07.31

Научная статья

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-149-4-45-63>

Особенности архитектуры фитнес-центров в г. Алматы

Р.А. Кенжебаева*^{id}, К.И. Самойлов^{id}

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

(E-mail: *rauzakon1@gmail.com)

Аннотация. В данной научной статье осуществляется всесторонний анализ архитектурных и дизайнерских особенностей фитнес-центров в г. Алматы, акцентируя внимание на важности этих элементов в создании привлекательной и функциональной среды для занятий спортом. Исследование восполняет пробел в знаниях, касающихся влияния архитектурных решений на интеграцию фитнес-центров с городской средой и удовлетворение потребностей различных групп населения. В исследовании использовались качественные методы, такие, как анализ опросов, визуальных осмотров и отзывов посетителей, данные которых обработаны с использованием методов тематического и контент-анализа. Основные выводы показывают, что интеграция с городской средой и применение инновационных технологий значительно влияют на привлекательность и популярность фитнес-центров. Полученные результаты могут быть использованы для разработки новых проектов фитнес-центров, способствующих улучшению качества жизни городского населения и устойчивому развитию городской среды.

Ключевые слова: доступность, устойчивость, экологичность, городская среда, инклюзивное пространство, социокультурный контекст, инновационные методы и технологии.

Поступила 03.04.2024. Доработана 13.08.2024. Одобрена 20.10.2024. Доступна онлайн 31.12.2024

^{1*}автор корреспонденции

Введение

За последние десятилетия приверженность здоровому образу жизни превратилась в глобальную тенденцию, что способствовало росту спроса на фитнес-услуги во всем мире. Исследование, проведенное Белоковаленко и Тхориковым [1], подчеркивает динамичное развитие глобальной индустрии фитнеса и влияние этого на потребительские требования в пост-ковидной экономике, что ставит новые задачи перед архитекторами и дизайнерами фитнес-клубов [2]. Алматы, являясь крупнейшим городом Казахстана и культурной столицей страны, также следует этой тенденции. Увеличение количества фитнес-центров в Алматы отражает возрастающий интерес населения к поддержанию физической активности и заботе о здоровье, что предоставляет архитекторам и дизайнерам новые вызовы и возможности.

Архитектурное проектирование фитнес-центров в Алматы сопряжено с рядом специфических проблем. Во-первых, город находится в сейсмически активной области, что требует особого подхода к выбору конструктивных решений для зданий. Разработка конструкций, устойчивых к землетрясениям, усложняет проектные работы и может привести к увеличению стоимости строительства. Во-вторых, плотная застройка городских территорий и ограниченное количество мест для парковок создают трудности в обеспечении достаточного числа парковочных мест для посетителей фитнес-центров.

Усиление интереса к здоровому образу жизни и рост численности населения требуют проектирования фитнес-центров, которые могут обслуживать увеличивающееся количество посетителей из разных социальных групп и предоставлять разнообразие услуг. Это подразумевает разработку просторных, многофункциональных и адаптируемых пространств, что представляет собой очередной вызов для архитекторов.

В этом контексте новизна данного исследования заключается в комплексном анализе архитектурных и дизайнерских особенностей фитнес-центров в Алматы, что ранее не было предметом систематического изучения в контексте казахстанской урбанистики. В отличие от предыдущих исследований, которые могли затрагивать лишь отдельные аспекты архитектуры или дизайна, данная работа впервые объединяет оценку влияния архитектурных решений на интеграцию этих объектов с городской средой, а также их восприятие и удовлетворенность посетителей.

Целью данного исследования является проведение анализа архитектурных и дизайнерских особенностей фитнес-центров в Алматы с акцентом на их интеграцию с городской средой и влияние на удовлетворенность посетителей. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи: анализ существующих фитнес-центров с точки зрения их архитектурных решений и дизайнерских подходов, оценка того, как эти особенности способствуют интеграции с городской средой и влияют на популярность среди различных социальных групп, выявление ключевых факторов, оказывающих наибольшее влияние на восприятие и удовлетворенность посетителей, а также систематизация полученных данных для создания обоснованных выводов. Эти выводы могут быть использованы как в дальнейших исследованиях, так и для разработки практических рекомендаций по проектированию фитнес-центров.

Исследования в области архитектуры фитнес-центров подчеркивают критическую роль дизайна в создании пространств, которые не только способствуют физической активности, но и улучшают общее благополучие посетителей. Важность учета специфических потребностей таких заведений проявляется в выборе качественных материалов, эффективном использовании пространства и интеграции современных технологий. Особое внимание уделяется адаптации зданий, первоначально не предназначенных для спортивных целей. Это включает управление шумом и вибрациями, особенно вблизи жилых районов [3], а также создание разнообразных тренировочных зон с удобным доступом и безопасным перемещением между ними [9].

В процессе адаптации помещений для фитнес-центров важно учитывать аспекты безопасности и доступности для всех категорий посетителей, включая соответствие требованиям пожарной безопасности, эвакуации и обеспечение доступности для людей с ограниченными возможностями. Использование качественных материалов и надежных конструкций играет важную роль в обеспечении безопасности занимающихся [10]. Кроме того, интеграция элементов брендинга и сохранение исторических элементов зданий при одновременном добавлении современных дизайнерских решений создают мотивирующую и приятную атмосферу для тренировок. Это помогает укрепить идентичность фитнес-центра и создать узнаваемое пространство для посетителей [11].

Технологическое оснащение является ключевым компонентом современных фитнес-центров, обеспечивая не только удобство и эффективность тренировок, но и вовлечение пользователей в процесс улучшения их физического состояния. Внедрение интеллектуальных систем в фитнес-центрах показало, что лишь небольшая часть из них соответствует требованиям пользователей, что подчеркивает необходимость более тесного соответствия между дизайном зданий и ожиданиями посетителей [5]. Технологии позволяют привлекать большие группы людей, индивидуализировать вмешательства в больших масштабах и производить интервенции, способствующие активности, через различные каналы [16].

Несмотря на популярность фитнес-технологий, включая трекеры и приложения для смартфонов, остаются вопросы относительно эффективности этой технологии для стимулирования изменения поведения. Техники изменения поведения, такие, как установка целей, обратная связь, награды и социальные факторы, часто включаются в фитнес-технологии. Однако неясно, какие компоненты наиболее эффективны и какие из них на самом деле используются потребителями [18]. Существует растущий спрос на цифровые технологии, которые помогают пользователям отслеживать, мотивировать и получать коучинг как для аэробных, так и для анаэробных активностей [19]. Это требует от дизайнеров учета новых технологий и их влияния на пользовательский опыт, включая удобство ношения, дизайн технологий и их использование на практике [7].

Интеграция с окружающей средой требует тщательного учета взаимодействия фитнес-центров с ней. Исследования показывают, что дизайн и расположение зданий и прилегающих территорий могут значительно влиять на физическую активность посетителей [4]. Экологическая интеграция включает выбор местоположения, архитектурное планирование и ландшафтный дизайн с акцентом на включение

природных элементов, таких, как водные объекты, зеленые зоны и деревья. Целью такого подхода является создание естественной атмосферы и способствование биоразнообразию. Использование экологически чистых материалов и технологий, таких, как солнечные панели и системы сбора дождевой воды, способствует минимизации воздействия на окружающую среду [14].

Социокультурная интеграция подразумевает учет местных традиций, уважение к историческому наследию и предоставление услуг, соответствующих потребностям местного населения. Интеграция с местной культурой способствует созданию инклюзивного пространства, которое поощряет социальное взаимодействие и укрепляет общественные связи [12]. Экономическая устойчивость включает использование местных ресурсов, снижение операционных затрат и разработку услуг, способствующих экономическому развитию региона. Партнерство с местными предприятиями и участие в экологических и социальных программах могут укрепить связь фитнес-центра с местным сообществом и способствовать его устойчивому развитию [13].

Связь между физической активностью и городской средой является ключевой для здоровья и благополучия городского населения. Исследования подтверждают, что уровень физической активности влияет не только на физическое здоровье, но и на психологическое состояние, социальные взаимодействия и общее качество жизни. Дизайн и характеристики городской среды, включая доступность мест для занятий спортом, безопасность и визуальное качество, влияют на уровень физической активности населения [20]. Создание доступных и безопасных городских пространств, стимулирующих пешеходные и велосипедные прогулки, является критически важным для повышения уровня физической активности среди городского населения [21].

Физическая активность также позитивно влияет на здоровье мозга и когнитивные функции, особенно у пожилых людей. Исследования Мармелейры показывают, что физическая активность способствует улучшению когнитивных способностей через изменения в мозговом кровотоке, нейротрофических факторах и нейротрансмиттерных системах [23]. Регулярная физическая активность оказывает благоприятное воздействие на здоровье и когнитивную производительность, особенно на исполнительные функции. Это подчеркивает важность физической активности, поддерживаемой архитектурой фитнес-центров, в улучшении когнитивных функций и общего благополучия человека [6].

Практические примеры архитектурного проектирования фитнес-центров в Казахстане демонстрируют различные подходы к адаптации международных тенденций к местному контексту. Несмотря на отсутствие обширных научных исследований в этой области, реализованные проекты отражают высокий уровень адаптации и инноваций.

- «*Royal Club Нурлы-Тау*» в Алматы: Проект, разработанный архитектором Тохтаром Ералиевым, интегрирует современные архитектурные решения с природным контекстом. Дизайн центра вдохновлен природными ландшафтами и использует экологичные материалы, что отражает стремление к созданию гармоничного и функционального пространства.

- «*Arasan Fitness*» в Алматы: Этот проект представляет адаптацию исторической архитектуры под современные нужды фитнес-индустрии. Архитекторы сохранили

элементы традиционного казахстанского дизайна, интегрируя их с современными функциональными решениями, подчеркивая значимость культурной адаптации в архитектуре.

- *«FITNATION» на ул. Розыбакиева в Алматы:* Современная архитектура этого центра ориентирована на многофункциональность и использование инновационных технологий. Панорамное остекление и высококачественные материалы подчеркивают стремление к созданию привлекательного и удобного пространства для посетителей.

- *«Invictus Sadu» в Алматы:* Проект ориентирован на интеграцию с окружающей средой, отражая современный подход к проектированию спортивных объектов в Казахстане и учитывая климатические особенности региона.

Архитектурные решения фитнес-центров в Казахстане часто ориентированы на:

- *Интеграцию с городской средой:* Обеспечивая удобный доступ для всех категорий населения и создавая общественные пространства, способствующие взаимодействию с окружающей средой.

- *Климатическую адаптацию:* Использование специализированных конструктивных решений и материалов для обеспечения долговечности и устойчивости зданий в условиях резких температурных колебаний и высокой сейсмической активности.

- *Культурную адаптацию:* Учет местных культурных и исторических особенностей, выраженных в использовании традиционных мотивов и элементов в дизайне, что способствует созданию уникальной и узнаваемой архитектуры.

Обзор литературы и практических примеров подчеркивает необходимость комплексного подхода к проектированию фитнес-центров. Ключевыми аспектами являются интеграция современных технологий, учет особенностей местоположения и социокультурного контекста, создание функционального и мотивирующего пространства для пользователей, а также обеспечение экологической и экономической устойчивости. Такой подход способствует продвижению здорового и активного образа жизни в городских условиях, отвечает потребностям современного общества и способствует устойчивому развитию.

Выводы из обзора литературы по архитектуре и дизайну фитнес-центров подчеркивают важность многогранного подхода к проектированию таких объектов. Учитывая технические, экологические, социокультурные и экономические аспекты, архитекторы и дизайнеры могут создавать пространства, которые не только удовлетворяют потребности пользователей, но и способствуют улучшению общего качества жизни в городах.

Методология

Для данного исследования были выбраны 15 фитнес-центров, расположенных в разных районах города Алматы. Выборка объектов была проведена на основе нескольких ключевых характеристик, включая местоположение, общую площадь, год основания и архитектурные особенности. Эти критерии были выбраны для обеспечения репрезентативности выборки и охвата различных типов фитнес-центров, от небольших

клубов до крупных многофункциональных комплексов. Данный подход соответствует принципам, описанным в статье Liu, K., Zhang, X., & Xu, D. [1], где выборка фитнес-центров также основывалась на сочетании количественных и качественных характеристик для представления разнообразия фитнес-пространств [1].

Фитнес-центры были выбраны таким образом, чтобы они представляли разные типы застройки и находились в различных социально-экономических зонах города. Это позволило учитывать влияние различных факторов на восприятие архитектуры и функциональности фитнес-центров. Репрезентативность выборки была обеспечена за счет выбора объектов с различными характеристиками, что позволило исследовать широкий спектр архитектурных решений и их влияние на пользователей.

Основным методом сбора данных был опрос, проведенный среди посетителей выбранных фитнес-центров. Опросные листы были разработаны на основе существующих исследований, включая принципы, изложенные в статье Liu, K., Zhang, X., & Xu, D. [1], где акцент делается на сборе качественных данных о восприятии архитектурных и дизайнерских решений посетителями фитнес-пространств. Опросные листы содержали вопросы, разделенные на четыре основные категории:

Общие сведения о фитнес-центре:

- "В каком году был основан данный фитнес-центр?"
- "Какова общая площадь фитнес-центра?"
- "Как местоположение фитнес-центра влияет на ваше решение посетить его?"

Архитектурные особенности:

- "Как бы вы охарактеризовали архитектурный стиль данного фитнес-центра?"
- "Насколько привлекателен для вас фасад и входная группа фитнес-центра?"
- "Как использование символики и брендинга в архитектуре влияет на ваше восприятие фитнес-центра?"

Внутреннее устройство и зонирование:

- "Насколько удобна для вас планировка внутреннего пространства фитнес-центра?"
- "Как вы оцениваете функциональность различных зон (кардио-зона, силовые тренировки, групповые занятия)?"
- "Какие дополнительные услуги (сауна, бассейн, кафе) наиболее важны для вас?"

Использование современных/экологичных материалов и технологий:

- "Заметили ли вы использование современных строительных материалов в дизайне фитнес-центра?"
- "Какую роль для вас играют экологичные решения и технологии в фитнес-центре?"
- "Какое значение для вас имеет наличие современных систем вентиляции и освещения в фитнес-центре?"

Данные были собраны от 300 респондентов, что позволило получить разнообразные мнения и предпочтения, связанные с архитектурой и функциональностью фитнес-центров. Дополнительно были проведены визуальные осмотры объектов для подтверждения и дополнения собранной информации.

Для данного исследования был выбран качественный подход, поскольку он позволяет глубже понять сложные и субъективные аспекты, такие, как восприятие и предпочтения

посетителей, а также нюансы дизайна и архитектуры, которые могут быть упущены при использовании исключительно количественных методов.

Качественный подход предоставляет гибкость в процессе сбора данных, позволяя исследователям адаптировать вопросы в зависимости от ответов респондентов, что особенно важно при изучении таких многослойных явлений, как архитектура и дизайн. Он также позволяет исследовать контекст и значения, придаваемые посетителями различным архитектурным элементам, и выявлять неожиданные факторы, которые могут существенно влиять на их восприятие.

Использование качественного метода в данном исследовании обосновано необходимостью более глубокого понимания того, каким образом архитектурные особенности фитнес-центров влияют на эмоциональное восприятие и удовлетворенность посетителей. В дальнейшем для подтверждения и расширения полученных результатов может быть применен смешанный подход, сочетающий качественные и количественные методы.

Онлайн-анализ

1. *Изучение веб-ресурсов.* Первоначальный этап включал посещение официальных веб-сайтов изучаемых фитнес-центров для сбора основной информации, включая историю создания, предоставляемые услуги и инфраструктуру, что позволило получить предварительное представление о каждом центре.

2. *Анализ отзывов.* Был проведен тщательный анализ отзывов посетителей на различных платформах, таких, как 2ГИС, Google Maps и TripAdvisor, а также в социальных сетях, что дало возможность оценить уровень удовлетворенности клиентов и узнать об их личных впечатлениях.

3. *Поиск публикаций.* Был осуществлен поиск и анализ статей о фитнес-центрах в местных СМИ и специализированных изданиях, что позволило расширить информационную базу данными о мероприятиях, проводимых центрами, их особенностях и достижениях.

4. *Коммуникация с администрацией.* Для извлечения информации непосредственно от источников и верификации данных была установлена коммуникация с представителями фитнес-центров с использованием разнообразных каналов связи, в том числе телефонных звонков, электронной почты и социальных сетей, что обеспечило более глубокое осмысление уникальных характеристик каждого центра и, по возможности, организацию личных встреч и экскурсий.

5. *Визуальный осмотр.* Проводился непосредственный визит в фитнес-центры для визуальной оценки их архитектурных и дизайнерских особенностей, а также общей атмосферы.

Анализ данных

Для анализа собранных данных использовались как количественные, так и качественные методы. Количественные данные, полученные из опросных листов, были проанализированы с использованием статистических методов, включая описательную статистику и корреляционный анализ, что позволило выявить основные тенденции и зависимости. Для качественного анализа использовался метод контент-анализа, который позволил систематизировать и интерпретировать текстовые данные, полученные из ответов респондентов.

Этические вопросы

Все участники исследования были проинформированы о целях и методах сбора данных, и их участие было добровольным. Для обеспечения конфиденциальности и анонимности личные данные респондентов не собирались. Весь процесс исследования соответствовал этическим стандартам и был направлен на уважение прав участников.

Ограничения исследования

Исследование имеет несколько ограничений, которые необходимо учитывать при интерпретации результатов:

1. Ограничения выборки: хотя выборка охватывает разные типы фитнес-центров в Алматы, результаты могут не быть полностью репрезентативными для всех фитнес-центров в городе или в других регионах.

2. Субъективность ответов: данные, полученные через опросы, могут быть субъективными и зависеть от личных предпочтений и опыта респондентов.

3. Трудности в интерпретации качественных данных: несмотря на использование метода контент-анализа, интерпретация текстовых данных всегда несет в себе элемент субъективности, что может влиять на выводы исследования.

Эти ограничения подчеркивают необходимость дальнейших исследований с использованием более широких выборок и дополнительных методов анализа, чтобы получить более глубокое понимание влияния архитектурных особенностей на восприятие фитнес-центров.

Фитнес-центр расположен в бизнес-центре Нурлы-Тау (Рис.1), который был построен в 2010 году. Архитектор проекта – Тохтар Ералиев. Общая площадь центра составляет 3500 кв.м, и он находится внутри 28-этажного бизнес-центра.

Центр расположен на проспекте аль-Фараби в центре города, что оказало влияние на выбор дизайна. Архитектура выполнена в стиле хай-тек с современными материалами, а дизайн вдохновлен горным массивом Тянь-Шаня. Входная группа и фасад здания украшены символикой "сияющая гора", что подчеркивает уникальный облик здания.

Внутреннее устройство фитнес-центра включает 10 фитнес-зон, среди которых кардио-зона и зона для боевых искусств (fight-zone), а также SPA-салон, спортивный бассейн (Рис.1) и детский клуб. В процессе проектирования были использованы современные строительные материалы и инновационные технологии, а также экологичные решения.

Архитектура фитнес-центра адаптирована под различные тренировочные потребности, что делает его удобным для всех посетителей. Однако, несмотря на уникальный дизайн и удобное расположение с парковочной зоной, центр не полностью адаптирован для маломобильных групп населения.

Отзывы посетителей в основном положительные: они отмечают высокое качество услуг после ремонта, уют и комфортные условия. Однако были отмечены и недостатки, такие как неудобства в душевых, отсутствие естественного освещения и инклюзивности для маломобильных групп населения. Положительные комментарии включают улучшение интерьера, удобное расположение и удовлетворение качеством нового оборудования.

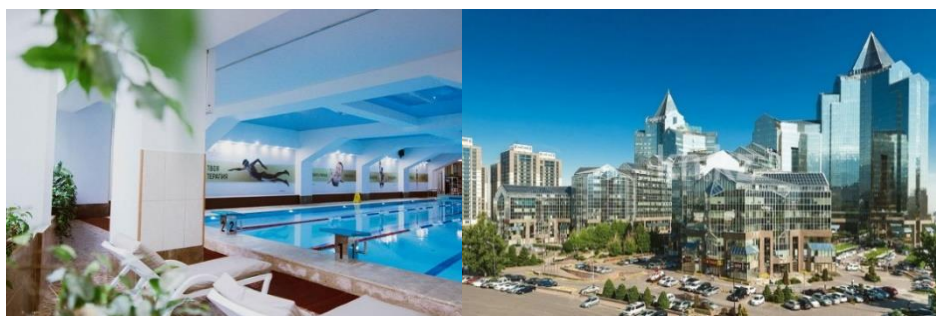


Рисунок 1. Фитнес-центр «Royal Club НурлыТау».

Фитнес-центр Arasan Fitness, расположенный в здании банного комплекса Арасан

Здание было построено в 1983 году и является крупнейшим лечебно-оздоровительным объектом на постсоветском пространстве. Оно представляет собой пятиэтажное строение (Рис.2) с двухэтажным цоколем, состоящее из семи павильонов.

Расположенное в центральной части Алматы, здание соответствует статусу городской достопримечательности. В его архитектуре прослеживаются стилистические черты региональной архитектуры, включая монументальный портал и массивный ребристый купол.

На цокольном этаже находятся три зала: основной, зал для единоборств, а также зал хореографии и групповых занятий. В оформлении использованы натуральные материалы, такие, как мангышлакский ракушечник, а также монолитный железобетонный каркас.

Архитектура предлагает разнообразные зоны для оздоровительных процедур (Рис.2), однако объект не адаптирован для маломобильных групп населения. Уникальные архитектурные решения и историческая ценность здания делают его знаковым объектом в Алматы.

Отзывы посетителей в основном положительные, особенно в отношении удачного местоположения, исторической значимости и уникальности здания, но есть жалобы на неудобства при оплате парковки и маленькие залы.



Рисунок 2. Фитнес-центр Arasan Fitness, расположенный в здании банного комплекса Арасан.

Фитнес-центр FITNATION на ул. Розыбакиева

Фитнес-клуб сети Fitnation был открыт в мае 2021 года в Алматы, рядом с торгово-развлекательным центром Mega Alma-Ata на улице Розыбакиева. Здание клуба имеет три этажа и подвал, общей площадью 4526,9 кв. м, размеры в осях составляют 240 на 330 м.

Клуб расположен в верхней части города, что позволяет посетителям совмещать тренировки с шоппингом и деловыми встречами. Это влияет на концепцию дизайна и предлагаемые удобства. Дизайн фитнес-центра включает панорамное остекление в кардиозоне и инновационное оформление внутренних пространств, включая специализированные залы для маломобильных групп населения (МГН).

Внутреннее устройство клуба разнообразно: кардиозона с панорамным видом, зоны для силовых и функциональных тренировок, залы для групповых занятий, детские комнаты, массажные кабинеты, коворкинг-зоны и студии для иммерсивных тренировок на сайклах.

Клуб использует современные технологии и материалы, такие, как навесные вентилируемые фасады, сэндвич-панели и металлические коробчатые кассеты. Несмотря на отсутствие парковки, расположение рядом с торговым центром компенсирует этот недостаток. Архитектура способствует созданию мотивирующей атмосферы и функционального пространства для различных видов тренировок.

Современный дизайн и многофункциональность делают клуб популярным среди жителей Алматы. Посетители высоко оценивают качество оборудования и услуг, однако отмечают отсутствие бассейна и парковки. В целом клуб предоставляет услуги высокого уровня для разных возрастов и интересов, что объясняет его популярность и положительные отзывы.

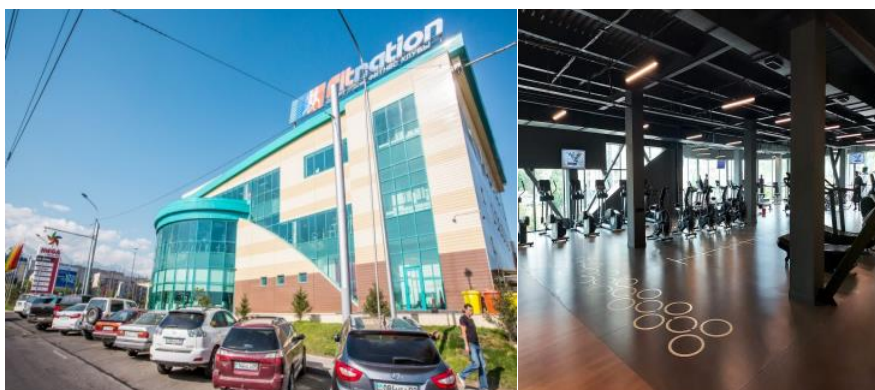


Рисунок 3. Фитнес-центр FITNATION на ул. Розыбакиева.

Invictus Sadu в Алматы

Фитнес-центр Invictus Sadu был открыт в апреле 2022 года. Пять лет команда центра изучала лучшие мировые практики в области фитнеса, проводила исследования и посещала ведущие клубы для сбора опыта и внедрения инноваций. Здание центра (Рис.4) состоит из пяти этажей и включает дополнительные объекты, такие, как отель, ресторан, магазин спортивной медицины и школа гимнастики. Центр расположен

рядом с международным комплексом лыжных трамплинов на проспекте аль-Фараби, что отразилось на спортивной ориентации дизайна.

Архитектура здания выполнена с использованием современных строительных материалов и технологий, органично вписываясь в городскую среду. Пространство организовано для обеспечения удобства и безопасности посетителей. Фитнес-центр предлагает разнообразные услуги, включая 25-метровый бассейн, детский бассейн, финскую сауну и турецкий хамам. Однако отмечаются проблемы с доступностью для пешеходов и отсутствием парковочных мест.

В центре используются инновационные технологии, такие, как геймифицированный фитнес и умные системы управления доступом. Эти технологии повышают функциональность и удобство для посетителей. Уникальный дизайн и широкий спектр услуг сделали центр популярным, несмотря на некоторые недостатки, связанные с парковкой и доступностью.

Отзывы посетителей в основном положительные. Посетители высоко оценивают качество оборудования и услуг, хотя отмечают проблемы с парковкой, тесноту в раздевалках и сложность использования шкафчиков.



Рисунок 4. Invictus Sadu в Алматы.

Исследование четырех фитнес-центров в Алматы демонстрирует разнообразие методов организации и дизайна, которые отражают уникальность их местоположения и архитектурные характеристики. Данные отличия оказывают влияние на функциональность, популярность и восприятие этих центров их посетителями. Различия в местоположении и архитектурных решениях фитнес-центров в Алматы влияют на их способность удовлетворять разные потребности посетителей и формировать уникальные предложения на рынке фитнес-услуг. Бадленд и Шоуфилд в своем исследовании описывают, как факторы городского дизайна, такие, как плотность, возраст застройки, связность улиц и смешанное использование земель, способствуют физической активности [26]. Таким образом, фитнес-центры в Алматы демонстрируют, как архитектура и дизайн могут служить не только для достижения коммерческих целей, но и для воплощения более широких социальных задач, направленных на улучшение

качества жизни и здоровья городского населения, тем самым подтверждает значимость интеграции архитектурных и дизайнерских решений в стратегии развития городской инфраструктуры, ориентированной на продвижение активного и здорового образа жизни.

Анализ исследования фитнес-центров в Алматы выявил ключевые аспекты, которые влияют на их успех и популярность среди населения. Полученные выводы подчеркивают важность архитектурных и дизайнерских решений, которые не только способствуют созданию благоприятной городской среды, но и активно влияют на продвижение здорового образа жизни. Интеграция с городской средой, способствование активному образу жизни, доступность и удовлетворенность посетителей, инновации и технологии, а также социокультурная интеграция являются основными факторами, определяющими эффективность фитнес-центров в Алматы.

Таблица 1. Ключевые факторы успеха фитнес-центров в Алматы: Архитектурный и социокультурный анализ

Аспект исследования	Выводы
Интеграция с городской средой	Архитектура фитнес-центров в Алматы способствует формированию благоприятной городской среды через уникальное расположение и дизайн, продвигая здоровый образ жизни и интегрируясь в городской ландшафт.
Способствование активному образу жизни	Архитектурные решения фитнес-центров направлены на стимулирование физической активности, создание мотивирующей среды с обширными залами для тренировок и зонами отдыха.
Доступность и удовлетворенность посетителей	Особое внимание уделяется доступности фитнес-центров для всех групп населения, включая маломобильные группы. Ключевым является комплексный подход к проектированию, учитывающий внутренние и внешние аспекты воздействия на городскую среду.
Инновации и технологии	Использование современных строительных материалов, технологий и инноваций в организации пространства и предоставлении услуг улучшает функциональность и комфорт помещений, повышая привлекательность фитнес-центров.
Социокультурная интеграция	Учет социокультурных аспектов в дизайне и программе способствует формированию социального взаимодействия и поддержке общественного здоровья, создавая инклюзивное и поддерживающее сообщество.

Каждый из рассмотренных центров демонстрирует уникальный подход к реализации этих аспектов, отражая специфику своего местоположения и целевой аудитории. От уникального дизайна и многофункциональности Royal Club и Invictus Sadu до культурного наследия и исторической ценности Arasan Fitness, а также доступности и концепции "доступного фитнеса" в FITNATION -разнообразие подходов способствует созданию богатого и многоаспектного ландшафта фитнес-услуг в городе.

Проведенные исследования подтверждают, что архитектура и дизайн фитнес-центров играют ключевую роль в формировании здорового и активного образа жизни жителей

города, а также влияют на их социальное взаимодействие и общее благополучие [Таблица 1]. Важность комплексного подхода к проектированию, который учитывает как внутренние, так и внешние аспекты воздействия на городскую среду, не может быть переоценена.

Фитнес-центры в Алматы демонстрируют, как инновационные архитектурные и дизайнерские решения могут способствовать достижению более широких социальных целей, направленных на улучшение качества жизни и здоровья городского населения, подчеркивая значимость их интеграции в стратегию развития городской инфраструктуры.

Результаты и обсуждения

Наше исследование показало, что использование современных архитектурных решений, таких, как панорамное остекление и интеграция природных элементов, значительно улучшает восприятие фитнес-центров посетителями. Этот вывод согласуется с данными исследований [7], где утверждается, что сочетание функциональных и эстетических элементов в архитектуре способствует созданию мотивирующей и приятной среды для тренировок. Визуально привлекательный дизайн, создающий ощущение открытости и комфорта, повышает желание посетителей регулярно посещать центр, что особенно актуально для фитнес-центров в Алматы.

Интеграция фитнес-центров с городской средой является ключевым фактором, способствующим повышению уровня физической активности населения. Это подтверждается исследованиями [4], которые показывают, что архитектурное расположение и дизайн спортивных объектов оказывают значительное влияние на уровень физической активности, особенно в городах. Фитнес-центры, расположенные в доступных и оживленных частях города, стимулируют более частое посещение и вовлеченность населения в активный образ жизни.

Функциональность внутреннего пространства также оказывает большое влияние на удовлетворенность посетителей. Четкое зонирование фитнес-центров и продуманное использование пространства способствуют созданию комфортных условий для тренировок. Это согласуется с выводами [11], где подчеркивается важность удобства использования и зонирования для позитивного пользовательского опыта. Наличие различных тренировочных зон улучшает организацию пространства и общую атмосферу для занятий спортом.

Современные технологии, такие, как интеллектуальные системы управления освещением и климатом, а также цифровые устройства для мониторинга здоровья, играют важную роль в повышении привлекательности фитнес-центров. Исследование [16] отмечает, что технологическая интеграция значительно улучшает пользовательский опыт. Однако чрезмерное внедрение технологий может вызывать у некоторых посетителей чувство дискомфорта, что подчеркивает необходимость сбалансированного подхода к использованию инноваций.

Наряду с архитектурными и технологическими решениями, социокультурная интеграция является важным элементом успешного функционирования фитнес-центров. Наше исследование показало, что адаптация архитектурных решений к местным традициям и использование культурных символов усиливают связь с местным населением и повышают лояльность посетителей. Это подтверждается исследованием [12], которое

подчеркивает важность культурной интеграции в проектировании общественных пространств.

Таким образом, результаты нашего исследования подчеркивают необходимость комплексного подхода к проектированию фитнес-центров, учитывающего как функциональные, так и культурные аспекты. Важно соблюдать баланс между инновациями и традиционными элементами, чтобы создать мотивирующую и комфортную среду для всех категорий посетителей. Такой подход не только улучшит пользовательский опыт, но и укрепит связь фитнес-центров с городской средой и местным сообществом.

Заключение

Цель данного исследования заключалась в проведении детального анализа архитектурных и дизайнерских особенностей фитнес-центров в Алматы, их интеграции с городской средой и влияния на удовлетворение потребностей посетителей. В результате проведенной работы можно утверждать, что указанная цель была достигнута в полной мере. Исследование подтвердило гипотезу о том, что архитектурные решения существенно влияют на восприятие и популярность фитнес-центров. Полученные данные показали, что интеграция объектов с городской средой, использование современных технологий и продуманное зонирование внутреннего пространства играют ключевую роль в формировании положительного опыта пользователей.

В рамках исследования были выполнены все поставленные задачи. Анализ 15 фитнес-центров в различных районах Алматы позволил выявить разнообразные архитектурные и дизайнерские подходы, адаптированные к местным условиям. Оценка влияния архитектурных решений на восприятие посетителей продемонстрировала, что адаптация объектов к потребностям различных социальных групп способствует повышению их удовлетворенности. Были также систематизированы ключевые факторы, которые положительно влияют на функциональность и привлекательность фитнес-центров, такие, как использование современных технологий и экологичных материалов, а также зонирование внутренних пространств, учитывающее различные типы активности.

Таким образом, исследование подтвердило значимость комплексного подхода к проектированию фитнес-центров, который учитывает как функциональные и эстетические аспекты, так и их интеграцию с городской средой. Полученные выводы могут быть полезны для дальнейших исследований и практического применения в области архитектуры и урбанистики.

Вклад авторов

Р.А. Кенжебаева – концепция, сбор данных, анализ и интерпретация результатов.

К.И. Самойлов – утверждение окончательной версии статьи для публикации.

Список литературы

1. Liu, K., Zhang, X., & Xu, D. (2023). Research on Community Fitness Spaces under the Guidance of the National Fitness Program. Sustainability. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151713273> .

2. Belokovalenko, O., & Tkhorikov, B. (2022). Emotional approach to fitness club brand design. *Independent Journal of Management & Production*. DOI: <https://doi.org/10.14807/ijmp.v13i4.1978>.
3. Kaewunruen, S., & Lei, C. (2020). Smartphone Sensing and Identification of Shock Noise and Vibration Induced by Gym Activities. *Acoustics Australia*, 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40857-020-00193-3>.
4. Zimring, C., Joseph, A., Nicoll, G., & Tsepas, S. (2005). Influences of building design and site design on physical activity: research and intervention opportunities. *American journal of preventive medicine*, 28 2 Suppl 2, 186-93. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.AMEPRE.2004.10.025>.
5. Cho, M., & Fellows, R. (2000). Intelligent building systems in Hong Kong offices. DOI: *Facilities*, 18, 225-234. <https://doi.org/10.1108/02632770010328072>.
6. Erickson, K., Hillman, C., & Kramer, A. (2015). Physical activity, brain, and cognition. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 4, 27-32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2015.01.005>.
7. Vidal, L., Zhu, H., Wærn, A., & Segura, E. (2021). The Design Space of Wearables for Sports and Fitness Practices. *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. DOI: <https://doi.org/10.1145/3411764.3445700>.
8. Addolorato, S., García-Fernández, J., Gallardo, L., & García-Unanue, J. (2020). An Overview of the Origins and Effectiveness of Commercial Fitness Equipment and Sectoral Corporate Settings: A Critical Review of Literature. *Applied Sciences*. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10041534>.
9. Shahi, S., Esfahani, M., Bachmann, C., & Haas, C. (2020). A definition framework for building adaptation projects. *Sustainable Cities and Society*, 63, 102345 - 102345. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102345>.
10. Hudec, M., & Rollová, L. (2016). Adaptability in the Architecture of Sport Facilities. *Procedia Engineering*, 161, 1393-1397. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.08.599>.
11. Brager, G., & Dear, R. (1998). Thermal adaptation in the built environment: a literature review. *Energy and Buildings*, 27, 83-96. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00053-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00053-4).
12. Duan-yang, X. Construction of Urban Culture in the Field of Gymnastics Culture. *Journal of Hubei Sports Science*. (2009).178-206
13. Wilkinson, G., & Dale, B. (1999). Integrated management systems: an examination of the concept and theory. *The Tqm Magazine*, 11, 95-104. DOI: <https://doi.org/10.1108/09544789910257280>.
14. Bronès, F., & Carvalho, M. M. (2015). From 50 to 1: integrating literature toward a systemic ecodesign model. *Journal of Cleaner Production*, 96, 44-57.
15. Stagrum, A.E., Andenæs, E., Kvande, T., & Lohne, J. (2020). Climate Change Adaptation Measures for Buildings – A Scoping Review. *Sustainability*.
16. Nigg, C. (2003). Technology's influence on physical activity and exercise science: the present and the future. *Psychology of Sport and Exercise*, 4, 57-65. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1469-0292\(02\)00017-1](https://doi.org/10.1016/S1469-0292(02)00017-1).
17. Addolorato, S., García-Fernández, J., Gallardo, L., & García-Unanue, J. (2020). An Overview of the Origins and Effectiveness of Commercial Fitness Equipment and Sectoral Corporate Settings: A Critical Review of Literature. *Applied Sciences*. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10041534>.
18. Sullivan, A., & Lachman, M. (2017). Behavior Change with Fitness Technology in Sedentary Adults: A Review of the Evidence for Increasing Physical Activity. *Frontiers in Public Health*, 4. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2016.00289>.

19. Wang, T., Gan, Y., Arena, S., Chitkushev, L., Zhang, G., & Rawassizadeh, R. (2021). Advances for Indoor Fitness Tracking, Coaching, and Motivation: A Review of Existing Technological Advances. *IEEE Systems, Man, and Cybernetics Magazine*, 7, 4-14. DOI: <https://doi.org/10.1109/MSMC.2020.3017936>.
20. Lee, C., & Moudon, A. (2004). Physical Activity and Environment Research in the Health Field: Implications for Urban and Transportation Planning Practice and Research. *Journal of Planning Literature*, 19, 147 - 181. DOI: <https://doi.org/10.1177/0885412204267680>.
21. Sivam, A., Karuppannan, S., Koohsari, M., & Sivam, A. (2012). Does Urban Design Influence Physical Activity in the Reduction of Obesity? A Review of Evidence. *The Open Urban Studies Journal*, 5, 14-21. DOI: <https://doi.org/10.2174/1874942901205010014>.
22. Zhong, J., Liu, W., Niu, B., Lin, X., & Deng, Y. (2022). Role of Built Environments on Physical Activity and Health Promotion: A Review and Policy Insights. *Frontiers in Public Health*, 10. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.950348>.
23. Marmeleira, J. (2013). An examination of the mechanisms underlying the effects of physical activity on brain and cognition. *European Review of Aging and Physical Activity*, 10, 83-94. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11556-012-0105-5>.
24. Seers, K. (2011). Qualitative data analysis. *Evidence Based Nursing*, 15, 2 - 2. DOI: <https://doi.org/10.1136/ebnurs.2011.100352>.
25. Hussein, H. (2011). Qualitative Research Methods. *Research Design in Clinical Psychology*. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781108236164.010>.
26. Badland, H., & Schofield, G. (2005). Transport, urban design, and physical activity: an evidence-based update. *Transportation Research Part D-transport and Environment*, 10, 177-196. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2004.12.001>.
27. Pearce, J., & Maddison, R. (2011). Do enhancements to the urban built environment improve physical activity levels among socially disadvantaged populations?. *International Journal for Equity in Health*, 10, 28 - 28. DOI: <https://doi.org/10.1186/1475-9276-10-28>.
28. Bácsné Bába, É., Ráthonyi, G., Pfau, C., Müller, A., Szabados, G. N., & Harangi-Rákos, M. (2021). Sustainability-Sport-Physical Activity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1455. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18041455>.
29. Fathi, S., Sajadzadeh, H., Sheshkal, F., Aram, F., Pintér, G., Felde, I., & Mosavi, A. (2020). The Role of Urban Morphology Design on Enhancing Physical Activity and Public Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17072359>.

Р.А. Кенжебаева*, К.И. Самойлов

Сәулет және құрылыс институты Т.К. Басенова, Satbayev University, Алматы, Қазақстан

Алматы қаласындағы фитнес-орталықтардың архитектурасының ерекшеліктері

Аңдатпа. Бұл ғылыми мақалада Алматы қаласындағы фитнес-орталықтарының архитектуралық және дизайнерлік ерекшеліктеріне жан-жақты талдау жүргізіліп, спортпен айналысу үшін тартымды және функционалды ортаны жасаудағы осы элементтердің маңыздылығына баса назар аударылады. Зерттеу қала ортасымен фитнес-орталықтардың интеграциясына және халықтың түрлі топтарының қажеттіліктерін қанағаттандыруға сәулеттік шешімдердің

әсеріне қатысты білімдегі олқылықтың орнын толтырады. Зерттеуде деректері тақырыптық және контент-талдау әдістерін пайдалана отырып өңделген сауалнамаларды, көрнекі тексерулерді және келушілердің пікірлерін талдау сияқты сапалы әдістер пайдаланылды. Негізгі қорытындылар қалалық ортамен интеграциялану және инновациялық технологияларды қолдану фитнес-орталықтардың тартымдылығы және танымалдығына айтарлықтай әсер ететінін көрсетеді. Алынған нәтижелер қала халқының өмір сүру сапасын жақсартуға және қала ортасының тұрақты дамуына ықпал ететін фитнес-орталықтардың жаңа жобаларын әзірлеу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: қолжетімділік, тұрақтылық, экологиялық, қалалық орта, инклюзивті кеңістік, әлеуметтік-мәдени контекст, инновациялық әдістер және технологиялар.

R.A. Kenzhebayeva, K.I. Samoilov

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

Features of the architecture of fitness centers in Almaty

Abstract. This scientific article provides a comprehensive analysis of the architectural and design features of fitness centers in Almaty, focusing on the importance of these elements in creating an attractive and functional environment for sports. The study fills a gap in knowledge regarding the impact of architectural solutions on the integration of fitness centers with the urban environment and meeting the needs of various population groups. The study used qualitative methods such as the analysis of surveys, visual inspections and user reviews, the data of which were processed using thematic and content analysis methods. The main findings show that integration with the urban environment and the use of innovative technologies significantly affect the attractiveness and popularity of fitness centers. The results obtained can be used to develop new projects of fitness centers that contribute to improving the quality of life of the urban population and sustainable development of the urban environment.

Keywords: accessibility, sustainability, environmental friendliness, urban environment, inclusive space, socio-cultural context, innovative methods and technologies.

References

1. Liu, K., Zhang, X., & Xu, D. (2023). Research on Community Fitness Spaces under the Guidance of the National Fitness Program. Sustainability. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151713273> .
2. Belokovalenko, O., & Tkhorikov, B. (2022). Emotional approach to fitness club brand design. Independent Journal of Management & Production. DOI: <https://doi.org/10.14807/ijmp.v13i4.1978> .
3. Kaewunruen, S., & Lei, C. (2020). Smartphone Sensing and Identification of Shock Noise and Vibration Induced by Gym Activities. Acoustics Australia, 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40857-020-00193-3> .
4. Zimring, C., Joseph, A., Nicoll, G., & Tsepas, S. (2005). Influences of building design and site design on physical activity: research and intervention opportunities. American journal of preventive medicine, 28 2 Suppl 2, 186-93. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.AMEPRE.2004.10.025>.
5. Cho, M., & Fellows, R. (2000). Intelligent building systems in Hong Kong offices. DOI: Facilities, 18, 225-234. <https://doi.org/10.1108/02632770010328072>.
6. Erickson, K., Hillman, C., & Kramer, A. (2015). Physical activity, brain, and cognition. Current Opinion in Behavioral Sciences, 4, 27-32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2015.01.005>.

7. Vidal, L., Zhu, H., Wærn, A., & Segura, E. (2021). The Design Space of Wearables for Sports and Fitness Practices. *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. DOI: <https://doi.org/10.1145/3411764.3445700>.
8. Addolorato, S., García-Fernández, J., Gallardo, L., & García-Unanue, J. (2020). An Overview of the Origins and Effectiveness of Commercial Fitness Equipment and Sectoral Corporate Settings: A Critical Review of Literature. *Applied Sciences*. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10041534>.
9. Shahi, S., Esfahani, M., Bachmann, C., & Haas, C. (2020). A definition framework for building adaptation projects. *Sustainable Cities and Society*, 63, 102345 - 102345. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102345>.
10. Hudec, M., & Rollová, L. (2016). Adaptability in the Architecture of Sport Facilities. *Procedia Engineering*, 161, 1393-1397. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.08.599>.
11. Brager, G., & Dear, R. (1998). Thermal adaptation in the built environment: a literature review. *Energy and Buildings*, 27, 83-96. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00053-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00053-4).
12. Duan-yang, X. Construction of Urban Culture in the Field of Gymnastics Culture. *Journal of Hubei Sports Science*. (2009).178-206
13. Wilkinson, G., & Dale, B. (1999). Integrated management systems: an examination of the concept and theory. *The Tqm Magazine*, 11, 95-104. DOI: <https://doi.org/10.1108/09544789910257280>.
14. Bronès, F., & Carvalho, M. M. (2015). From 50 to 1: integrating literature toward a systemic ecodesign model. *Journal of Cleaner Production*, 96, 44-57.
15. Stagrum, A.E., Andenæs, E., Kvande, T., & Lohne, J. (2020). Climate Change Adaptation Measures for Buildings – A Scoping Review. *Sustainability*.
16. Nigg, C. (2003). Technology's influence on physical activity and exercise science: the present and the future. *Psychology of Sport and Exercise*, 4, 57-65. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1469-0292\(02\)00017-1](https://doi.org/10.1016/S1469-0292(02)00017-1).
17. Addolorato, S., García-Fernández, J., Gallardo, L., & García-Unanue, J. (2020). An Overview of the Origins and Effectiveness of Commercial Fitness Equipment and Sectoral Corporate Settings: A Critical Review of Literature. *Applied Sciences*. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10041534>.
18. Sullivan, A., & Lachman, M. (2017). Behavior Change with Fitness Technology in Sedentary Adults: A Review of the Evidence for Increasing Physical Activity. *Frontiers in Public Health*, 4. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2016.00289>.
19. Wang, T., Gan, Y., Arena, S., Chitkushev, L., Zhang, G., & Rawassizadeh, R. (2021). Advances for Indoor Fitness Tracking, Coaching, and Motivation: A Review of Existing Technological Advances. *IEEE Systems, Man, and Cybernetics Magazine*, 7, 4-14. DOI: <https://doi.org/10.1109/MSMC.2020.3017936>.
20. Lee, C., & Moudon, A. (2004). Physical Activity and Environment Research in the Health Field: Implications for Urban and Transportation Planning Practice and Research. *Journal of Planning Literature*, 19, 147 - 181. DOI: <https://doi.org/10.1177/0885412204267680>.
21. Sivam, A., Karuppannan, S., Koohsari, M., & Sivam, A. (2012). Does Urban Design Influence Physical Activity in the Reduction of Obesity? A Review of Evidence. *The Open Urban Studies Journal*, 5, 14-21. DOI: <https://doi.org/10.2174/1874942901205010014>.
22. Zhong, J., Liu, W., Niu, B., Lin, X., & Deng, Y. (2022). Role of Built Environments on Physical Activity and Health Promotion: A Review and Policy Insights. *Frontiers in Public Health*, 10. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.950348>.

23. Marmeleira, J. (2013). An examination of the mechanisms underlying the effects of physical activity on brain and cognition. *European Review of Aging and Physical Activity*, 10, 83-94. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11556-012-0105-5>.
24. Seers, K. (2011). Qualitative data analysis. *Evidence Based Nursing*, 15, 2 - 2. DOI: <https://doi.org/10.1136/ebnurs.2011.100352>.
25. Hussein, H. (2011). *Qualitative Research Methods. Research Design in Clinical Psychology*. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781108236164.010>.
26. Badland, H., & Schofield, G. (2005). Transport, urban design, and physical activity: an evidence-based update. *Transportation Research Part D-transport and Environment*, 10, 177-196. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2004.12.001>.
27. Pearce, J., & Maddison, R. (2011). Do enhancements to the urban built environment improve physical activity levels among socially disadvantaged populations?. *International Journal for Equity in Health*, 10, 28 - 28. DOI: <https://doi.org/10.1186/1475-9276-10-28>.
28. Bácsné Bába, É., Ráthonyi, G., Pfau, C., Müller, A., Szabados, G. N., & Harangi-Rákos, M. (2021). Sustainability-Sport-Physical Activity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1455. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18041455>
29. Fathi, S., Sajadzadeh, H., Sheshkal, F., Aram, F., Pintér, G., Felde, I., & Mosavi, A. (2020). The Role of Urban Morphology Design on Enhancing Physical Activity and Public Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17072359>.

Сведения об авторах

Кенжебаева Р.А. – докторант 1 курса, Институт архитектуры и строительства им. Т.К. Басенова, Satbayev University, Алматы, Казахстан.

Самойлов К.И. – доктор архитектуры, профессор, кафедры «Архитектура», Институт архитектуры и строительства им.Т.К. Басенова, Satbayev University, Алматы, Казахстан.

Кенжебаева Р.А. – 1 курс докторанты, Сәулет және құрылыс институты Т.К. Басенова, Satbayev University, Алматы, Қазақстан

Самойлов К.И. – Сәулет докторы, Профессор, «Сәулет» кафедрасы, Сәулет және құрылыс институты Т.К. Басенова, Satbayev University, Алматы, Қазақстан

R.A. Kenzhebayeva – 1st year doctoral student, T.K. Basenov Institute of Architecture and Construction, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

K.I. Samoilov – Doctor of Architecture, Professor, Department of Architecture, Basenov Institute of Architecture and Construction, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan



Copyright: © 2024 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/10.32523/2616-7263-2024-149-4-64-75>

Архитектурно-планировочные методы формирования эволюции общеобразовательных организаций в России в XX веке

А. Ожет*^{ORCID}, С.Э. Мамедов^{ORCID}

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

(E-mail: * Arshyn.novyj@bk.ru)

Аннотация. В данной статье проводится комплексный анализ архитектурно-планировочных методов формирования общеобразовательных организаций в России в XX веке. Опираясь на исторические записи, образовательную политику и архитектурные разработки, исследование исследует эволюцию архитектуры школьных зданий, стратегии зонирования и планировки, интеграцию природных элементов, стандартизацию и методы массового производства, а также экспериментальные подходы. Результаты подчеркивают динамичный характер образовательной архитектуры и планирования, отражающий меняющийся образовательный ландшафт и потребности общества. Статья завершается оценкой влияния этих методов на развитие российской системы образования и архитектурно-планировочную организацию школ.

Ключевые слова: архитектура, архитектурно-планировочная организация, школы, архитектурно-планировочная структура, классно-урочная система; типовые проекты, функциональная схема.

Поступила 05.09.2024. Доработана 16.10.2024. Одобрена 18.11.2024. Доступна онлайн 31.12.2024

¹*автор корреспонденции

Введение

Государственная образовательная модель на территории России начала формироваться в XVIII веке. В этот период возникли идеи о школе как отдельном типе общественного здания, а также были разработаны первые проекты образовательных учреждений. Первоначальная структура гимназий включала в себя учебные аудитории, которые располагались на втором этаже, а также комнаты для преподавателей и их помощников на первом. В XIX веке в планировку были добавлены новые помещения, которые включали в себя гимнастические залы, кабинеты для занятий физикой, химией, историей и рисованием. Архитектурно-планировочные методы формирования общеобразовательных учреждений в России в XX веке представляют особый интерес, поскольку данный период ознаменовался активным развитием системы образования и изменением подходов к проектированию школьных зданий. Несмотря на значительное количество работ, посвященных архитектуре и образованию, остаются не полностью изученными аспекты влияния социальных, культурных и технологических изменений на формирование пространства школ. Актуальность темы заключается в необходимости теоретического осмысления и практического применения опыта XX века для разработки современных образовательных учреждений.

Обзор литературы

"Советская архитектура и западный модернизм: эффекты и заимствования" (под ред. Дж. Крейга) – рассматривает влияние западного модернизма на советскую архитектуру, включая проектирование учебных заведений [1].

"Образовательные здания (школы): международный опыт и советские реалии" (сборник статей) – сравнительный анализ архитектуры школ в постсоветских странах, что помогает выявить типичные черты и особенности строительства школ в СССР [2].

Статья М.В. Петрова "Формирование архитектурного облика советской школы: 1960-1980 годы" – рассматривает роль архитектурных и планировочных приемов, применяемых в проектировании типовых школ в поздний советский период, с акцентом на влияние политической ситуации и обязательных учебных норм [3].

Статья Иванова А. и анализ Петрова В. «Требования архитектурного и градостроительного планирования в СССР: аспекты создания и формирования школьных зданий» изучает архитектурные и градостроительные подходы, использовавшиеся при проектировании школьных зданий в Советском Союзе. В статье рассматриваются типовые проекты школ, их влияние на образовательные процессы и интеграция новых подходов в проектирование школьных учреждений, включая библиотеки и другие учебные зоны. Исследование охватывает период с начала XX века и акцентирует внимание на потребностях образовательной системы, влиянии модерна и неоклассицизма на архитектуру школьных зданий, а также роль специалистов в создании эффективной образовательной среды [4].

"The Evolution of School Architecture in Post-War Soviet Union" – статья рассматривает трансформацию школьной архитектуры в послевоенный период, с акцентом на переход от сталинского ампира к типовым школам. Рассматриваются изменения в архитектурных и планировочных решениях, вызванные социальными и политическими преобразованиями [5].

Современные исследования архитектурно-планировочных методов формирования общеобразовательных учреждений в России в XX веке предоставляют глубокий анализ эволюции архитектуры школ и требуют комплексного подхода в исследовании для сравнительного архитектурного анализа.

Методология

В исследовании использовались:

- литературный обзор, в рамках которого изучалась литература и проводился сбор архитектурно-литературного и научного материала об общеобразовательных учреждениях и их значимости в современном развитии общества;
- метод анализа проектных документов; на начальной стадии данного исследования осуществлялся сбор литературного и эскизного материала периода СССР до современности, затем был выполнен анализ собранного материала;
- метод графического построения; метод архитектурного проектирования использовался при формировании вариантов архитектурно-планировочных решений, влияющих на комфортность школ;
- метод сравнительного анализа выражался в сравнении методов, применяемых при планировке школьных зданий;
- метод обобщения результатов; в связи с масштабностью данного исследования на заключительной стадии выполняется обобщение и уточнение полученных результатов.

Результаты и Обсуждение

В России начальные школы отличались планировочным решением зданий и школьных мест в домах учителей. На начальном этапе требования строительства не привели к существенным изменениям в конструктивных особенностях учебных заведений. В XIX веке большое количество учащихся приобщалось к церкви и обучалось по фронтальным книжным методам в неформальных, несистематизированных условиях.

С конца 1870-х гг. до конца 1917 года получила широкое распространение земская школа как самая распространенная модель начального образования в Российской империи. С 1864 года были созданы земства и учреждены 1-классные государственные школы в областях и губерниях, а в 1865-1875 годах вступило в силу «Положение о начальных государственных школах».

По этому правилу в одном классе одновременно преподавался один раздел 1 под руководством только одного учителя. Такие секции были разделены на 3 и преподавались в течение 3 лет. Лишь с 20 века получили распространение 2-классные школы с 2 учителями с 4-летним учебным планом.

В этих школах преподавали основы математики и русского языка, чистописания, церковных законов и славянского языка, а также хор церковных песен. Кадровую основу системы образования дополнили учителя и специально приглашенные церковные работники. В земских школах стали обучаться 8-12-летние дети независимо от вероисповедания и пола.

Школы находились в ведении директоров и инспекторов, назначаемых Министерством просвещения, и финансировались земствами. С каждым годом доля государственного финансирования увеличивалась, а участие крестьянских объединений уменьшалось. Начиная с конца 19 века, земства в течение 15 лет стали создавать сеть народного образования.

Особенности архитектурного оформления школьных гимназий СССР совпали с новой литературой просвещения начала 1930-х годов. В этот период были построены школы, рассчитанные на 1,5-2 тысячи учащихся. 67-70% часть этих школ имели вспомогательные классы, и 30-35% функционировали как классы. Из-за финансовых затрат на подобную групповую педагогическую деятельность проект школьных гимназий был пересмотрен после упразднения лабораторно-командного обучения.

В 1913-1914 годах, после революции, число учащихся начальных и средних школ в Москве выросло до 129 тысяч. В то время это составляло 8% от общей численности населения города.

После октябрьской революции к 1934 году число учеников увеличилось до 458 тыс., составив на тот момент 13% населения города.

Увеличение количества школьников привело к увеличению школьных зданий. В 1933-1934 годах в целях увеличения количества школьных зданий была проведена реконструкция жилых зданий для школьного назначения, и количество школьных зданий составило 35 школ на 79 тыс. учеников [6].

Из-за дисбаланса между ростом числа учащихся и темпами строительства школ некоторым школам пришлось учиться в 3 смены. В 1935 году по решению ЦК и СНК СССР в Москве было построено 72 школы, что стало предпосылкой предотвращения этого разрыва. Была организована группа лучших архитекторов Моссовета для строительства 72 школ, что существенно способствовало сокращению 3-х сменных школ.

Перед архитекторами стояла непростая задача, им нужно было продумать архитектурно-проектные решения так, чтобы цена строительства не превышала 58 рублей за м². Несмотря на столь сложные требования, архитекторы спроектировали школу общей площадью 14 500 м², состоящую из 22 классов по 50 м² в каждом. В зависимости от функциональных характеристик помещения школы дополнялись столовой, библиотекой, специализированными классами по предметам физики, химии и биологии [7].

При проектировании архитекторы учитывали как педагогическое удобство, так и архитектурно-планировочные решения. Во всех школьных проектах на первом этаже размещались средние классы начальной школы и администрация школы. В некоторых проектах на первом этаже размещались библиотеки, 6 учебных классов и столовая. Таким образом, начальные классы расположены на первых двух этажах.

В 1935-36 годах необходимо было изучить функции раздевалок при наличии двух или трех вестибюлей, а результаты этого анализа использовать при проектировании школьных зданий в 1936 году. Необходимо было как можно шире проанализировать опыт строительства школ в этот период. Это было связано с тем, что, несмотря на значительный масштаб проекта, данное строительство было лишь начальным этапом решения проблем школьных помещений [8].

Несмотря на то, что большинству архитекторов удалось создать эффективные решения для внутренней планировки учебных заведений, вопросы внешнего архитектурного оформления и экономической целесообразности строительства еще не нашли полного решения в ряде проектов.

В 1949 году был законодательно утвержден переход на семилетнее всеобщее обязательное образование. После решения XIX Всероссийского съезда ВКП (б) (1952) о постепенном переходе ко всеобщему среднему образованию и увеличения за пять лет строительства городских и сельских школ на 70% были разработаны планы дальнейшего расширения сети средних школ в союзных и автономных республиках. В послевоенный период значительное развитие получили школы для рабочей и сельской молодежи (вечерние и сменные школы), созданные в 1943 году. Также в этот период был создан новый тип учебных заведений - школы-интернаты для детей, чьи родители погибли. В интернаты принимались матери-одиночки с детьми, больные, сироты и дети, не имевшие необходимых условий для воспитания в семье [8].

24 декабря 1958 года Верховный Совет СССР принял закон «Об укреплении связи школы с жизнью и о дальнейшем развитии системы народного образования в СССР», который положил начало школьной реформе, продолжавшейся до середины 1960-х годов [9].

В 1963 году с целью подготовки технически грамотных специалистов для промышленности и сельского хозяйства с 10 по 11 класс школа рассматривается как организация среднего образования, а с учебой связаны специальный техникум, высшие и окончательные учебные заведения. Дважды в неделю студенты консультировались для работы на заводах или в сельском хозяйстве, получали свидетельство о зачислении и свидетельство о специальной профессии.

Значительно расширена сеть вечернего и заочного обучения, были предоставлены скидки при поступлении в вузы для тех, кто проработал в отрасли не менее трех лет, а предприятия и коллективы получили возможность принимать направленных в высшие учебные заведения вне конкурса.

Выпускникам, проработавшим в промышленности не менее 3 лет, предоставляются скидки в вузы. При этом для предприятий появились особые льготы при приеме.

Из-за отсутствия рабочих мест на производстве не осуществлялась профессиональная подготовка студентов, окончивших специальный техникум. Лишь небольшое количество выпускников школ работало по своей профессии. В результате этих последствий снизился общеобразовательный уровень средних школ. Для решения этой проблемы в период 1964-1966 гг. общеобразовательные школы вернулись на 10-летнюю систему обучения, сохранив 8-месячное обязательное обучение.

В послевоенный период произошли изменения как в учебных заведениях, так и в их архитектурных особенностях. Например, с введением первого предмета военной

подготовки планирование потребовало в определенной степени организации занятий с новыми помещениями.

После изменения категории домов в типовом составе школьные здания расширили свою просветительскую деятельность. Пришлось модернизировать типовые проекты, увеличив стандартизированную площадь школы на 35-40%, включая спортивный зал, актовый зал, кабинеты и лаборатории, столовую, помещения для внеклассных групп. После 1960-х годов здания школы были расширены и в блоках специальных мастерских продолжался процесс политехнизации [10].

В 1970-е и 1980-е годы стандартный метод школьного проектирования достиг наивысшего уровня развития. Модельные проекты общеобразовательных школ были разработаны в СССР, они получили широкое признание и распространение во многих республиках Союза. Эти школы сотрудничали со внешкольными образовательными учреждениями и профтехучилищами, а их проектирование основывалось на требованиях общесоюзных строительных норм и правил [12].

В 1980-е годы вместе с введением 11-летней системы образования, которая также была общеобязательной в СССР, в архитектурно-планировочные решения школьных зданий вносились дальнейшие изменения. В этот период, наряду с технологическими классами, были добавлены классы обработки дерева и металла, транспортных наук, а также классы технологии и повышения квалификации. Но такое увеличение количества учебных классов давало понять, что значительное внимание следует уделить экономии затрат на здание.

В целях экономии средств была внедрена система классного обучения, что, в свою очередь, привело к сокращению количества классных комнат. Несмотря на экономические преимущества, такая система образования имела и свои недостатки. В частности, имели место такие ситуации, как эргономическая несовместимость мебели, время перерывов между занятиями, в результате чего время отдыха учащихся сокращалось. Таким образом, к началу 1990-х годов образовательные учреждения прошли типичный путь развития от заводских школ до крупных типовых общеобразовательных школ, построенных на единой нормативно-технологической базе. Однако события начала 1990-х годов привели к значительным изменениям в системе образования постсоветского пространства. Эти изменения включали в себя ограничение обязательного образования 9 классами, трансформацию существующей школьной сети и выделение школ с лицейскими, гимназическими и авторскими программами из единой трудовой политехнической школы, что потребовало пересмотра типологии школьных зданий.

Несмотря на продолжающееся использование традиционных норм в качестве технической основы проектирования, возникла необходимость разработки новых норм, гарантирующих архитектурно-планировочное формирование зданий. Существующие нормы использовались в практике проектирования в течение 10 лет, что послужило основой для подготовки ТКП 45-3.02-1-2004 (02250) «Состав участка и площадь общеобразовательных школ, учебно-методических комплексов, детских садов и школ». В этом документе были определены наиболее типичные для республиканского типа школы, оптимизированы конфигурация и площадь их помещений при сохранении возможности разнообразного проектирования [12].

Основные виды деятельности социума	Факторы	Теоретический модель эволюции арх. план структур. школ	Функциональная схема	Образовательный модель	
				Принцип обучения	Учебное пространство
Бог центр мира Монархия Земские школы до (1870-1917 годы)	Религия Мораль			нет четкий структуры пассивный метод 	Нет дифференция учебного пространства
Разделение общество на классы становление городского общества (Москва 1935 год)	экономика Наука мораль			лабораторно-бригадный метод 	Начало дифференциации учебного пространства
Разделение общество на классы послевоенные реформирования возведение новые жилые районы, моногорода (1950-1960 годы школа интернаты)	экономика Наука политика социология			классно-урочная система профрентация школа - интернаты 	дифференция учебного пространства, администрация, библиотека, жилые помещение для администраций
Появление новых социальных групп развитии индустриализации формирование фабрично-заводские школы (1970-1980 годы) фабрично заводские школы	экономика Наука мораль социология психология			предметный метод обучения фабрично-заводские обучение 	дифференция учебного пространства, администрация, библиотека, кабинеты цех
реформирования советской системы (демократизация, переход к рыночной экономике и многопартийности) масштабный индустриализация развития фабрично-заводские школы (Типовые школы - 1980 год)	Наука экономика политика искусства психология			предметный метод обучения 	дифференция учебного пространства, жесткая модульная система, администрация, библиотека, кабинеты цех
Распад СССР принятия Декларации о государственном суверенитете Российской Федерации (демократизация, переход к рыночной экономике и многопартийности) формирование типовые образовательные школы (1990 год - типовые школы)	экономика Наука политика искусства психология			предметный метод обучения, стандартизация классно-урочный системы 	дифференция учебного пространства, жесткая модульная система, администрация, библиотека, кабинеты цех
<p>Условные обозначения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li style="width: 25%;">■ - Помещение для учебных занятий <li style="width: 25%;">■ - гардероб <li style="width: 25%;">■ - кабинет общественный работы <li style="width: 25%;">■ - спортзал <li style="width: 25%;">■ - администрация <li style="width: 25%;">■ - раздевалка <li style="width: 25%;">■ - актовый зал <li style="width: 25%;">■ - коридор <li style="width: 25%;">■ - рекреация <li style="width: 25%;">■ - мастерское <li style="width: 25%;">■ - сан. узлы <li style="width: 25%;">■ - гардероб 				<p>Условные обозначения:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● - Учитель ● - Учитель 1 ● - Учитель 2 ● - Учитель 3 ● - Ученики 	

Рисунок 1. Эволюция архитектурно-планировочных методов организации общих учреждений в России в XIX веке.

Для анализа предоставленной в рисунке 1 информации рассматриваем основные элементы каждого этапа эволюции архитектурно-планировочных решений для школ в России с конца XIX до конца XX века, используя факторы, функциональные схемы и образовательные модели, представленные на изображении.

1. Земские школы (1870-1917 годы)

Факторы: основные факторы – религия и мораль. В центре внимания — Бог как центр мира, что отражает монархическую систему и значительную роль религиозного образования.

Функциональная схема: планировка школ была простой с отсутствием дифференциации учебного пространства.

Образовательная модель: учебный процесс основывался на четкой структуре и пассивном методе обучения без специализации учебного пространства.

2. Школы в период становления городского общества (Москва, 1935 год)

Факторы: экономика, наука и мораль – ключевые факторы этого периода. Начинается активное разделение общества на классы.

Функциональная схема: в школах начинает появляться дифференциация учебного пространства, лаборатории и бригадные зоны для более углубленного обучения.

Образовательная модель: лабораторно-бригадный метод становится основным, вводятся зоны для различных образовательных нужд.

3. Школы в послевоенное время (1950-1960 годы)

Факторы: экономика, наука, политика, социология. Происходит реформа образования и возвращение к классно-урочной системе, появляется профориентация.

Функциональная схема: появляются школьные интернаты, заметная дифференциация учебного пространства с выделением административных зон, библиотек и жилых помещений для администрации.

Образовательная модель: укрепление классно-урочной системы, появляются специализированные зоны для учебы и проживания.

4. Фабрично-заводские школы (1970-1980 годы)

Факторы: экономика, наука, мораль, социология, психология. Возникают новые социальные группы, акцент на индустриализацию.

Функциональная схема: более сложная планировка школ с четким разделением учебных и производственных пространств.

Образовательная модель: предметный метод обучения, включающий фабрично-заводское обучение, что требует значительной дифференциации учебного пространства.

5. Школы периода реформирования СССР (1980-е годы)

Факторы: наука, экономика, политика, искусство, психология. Происходит масштабная индустриализация, отражающаяся на структуре школ.

Функциональная схема: появляется жесткая модульная система, усиленная дифференциация учебного пространства с акцентом на специализированные учебные и административные зоны.

Образовательная модель: предметный метод обучения сохраняется, но с усиленной дифференциацией пространства и более жесткой организационной структурой.

6. Школы постсоветского периода (1990-е годы)

Факторы: экономика, наука, политика, психология. После распада СССР и перехода к рыночной экономике сохраняется необходимость в типовых школах.

Функциональная схема: школы строятся по типовым проектам с модернизированным подходом к учебным и административным зонам.

Образовательная модель: становится стандартом предметный метод обучения с классно-урочной системой, что отражает стабильность и преемственность образовательных традиций.

Заключение

Архитектурно-планировочные приемы формирования общеобразовательных организаций России в XX в. сыграли огромную роль в формировании системы образования страны. Этот всесторонний анализ показывает трансформационный путь проектирования школьных зданий, приспособляющийся к растущему контингенту учащихся и адаптирующийся к изменяющимся педагогическим подходам. Включение открытых пространств создали благоприятную учебную среду, которая способствовала благополучию и вовлеченности учащихся. Кроме того, стандартизация и методы массового производства способствовали быстрому строительству школ, обеспечив доступность для более широких слоев населения. Экспериментальные подходы к гибким учебным пространствам продемонстрировали готовность к инновациям и адаптации к новым образовательным теориям.

На основе этого положения была организована теоретическая модель эволюции формирования школьных зданий, архитектурно-планировочная структура школьных зданий (ее социальные факторы, принципы обучения, система учебного процесса), исходя из изменений, происходящих в образовательный процесс, тем самым структурная организация образовательных учреждений. Определение общих закономерностей эволюции архитектурно-планировочная организация школ позволяет прогнозировать их дальнейшее развитие.

Вклад авторов:

Ожет А.:

– Существенный вклад в концепцию и структуру работы, а также в сбор и анализ теоретических материалов.

– Написание текста статьи, включая обзор существующих подходов и исторических аспектов.

– Критический пересмотр содержания статьи, включая доработку и уточнение ключевых идей.

– Утверждение окончательного варианта статьи для публикации, включая формулировку выводов и заключений.

Мамедов С. Э.:

– Существенный вклад в анализ и интерпретацию экспериментальных данных, а также в разработку методологии исследования.

– Утверждение окончательного варианта статьи для публикации, включая формулировку выводов и заключений.

Список литературы

1. Иванов А. Петров В. Architectural and Urban Planning Aspects of Soviet School Buildings/. с англ. – Journal of Architecture and Urbanism, 2021. – 460 с.
2. Kuznetsova, I., Stepanov, V. The Evolution of School Architecture in Post-War Soviet Union. Architectural Research Quarterly, 2019-238 с.
3. Петрова М.В. Формирование архитектурного облика советской школы: 1960-1980 годы. Collins, M. (2021). Noise Pollution and Academic Performance. University of Southampton. – 168 с
4. Белоконь, А.В. Архитектура школы в России: XX век. Москва: Издательство Архитектура-С, 2003. Parkins, J. (2022). Safe School Transport Planning. University of Berkeley. 54 с.
5. Глушков, А.М. Эволюция школьной архитектуры в СССР: От авангарда к типизации. Вестник архитектуры и строительства, 2005.
6. Соколова, М. (2020). Проблемы организации парковочных зон вблизи школ.
7. Иванова, Е.Н. Архитектурно-планировочные принципы формирования образовательных учреждений в послевоенный период. Журнал Архитектурное наследие, 2012.
8. Смирнова, Л.А. Развитие школьной архитектуры в России в первой половине XX века: диссертация, МАРХИ, 2001. - 89 с.
9. Позняк С.В. Ақпараттық қоғамдағы мектеп ғимаратының сәулеттік-жоспарлау ұйымы: дис. канд.:18.00.02– Самара, 2009. – 264 с.
10. Dudek M. Architecture of schools: The new learning environments. – Routledge, 2012. - 62 с.
11. Рекомендации по реконструкции и модернизации существующего фонда школьных зданий в соответствии с современными педагогическими требованиями / Правительство Москвы Москомархитектура, 1997 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://meganorm.ru/Data1/5/5393/index.htm>
12. Коровина, Е.И. Создание типовых школ нового образца с использованием модульного принципа проектирования // Сборник статей международной исследовательской организации "Cognitio" по материалам XVIII международной научно-практической конференции: «Актуальные проблемы науки XXI века» - Международная исследовательская организация "Cognitio". – 2016. – 144 с.
13. Иванов, А. Н. Моделирование размещения объектов социальной инфраструктуры в городских условиях: диссертация, МГУ, 2016.

А.Өжет*, С.Э.Мамедов

¹Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан

XX- ғасырдағы Ресейдегі жалпы білім беру ұйымдарының эволюциясын қалыптастырудың сәулет-жоспарлау әдістері

Андатпа. Бұл мақалада XX ғасырдағы Ресейдегі жалпы білім беру ұйымдарының қалыптасуының сәулет-жоспарлау әдістеріне жан-жақты талдау жасалған. Тарихи жазбаларға, білім беру саясатына және сәулеттік дамуларға сүйене отырып, зерттеу мектеп ғимаратының сәулетінің эволюциясын, аймақтарға бөлу және орналасу стратегияларын, табиғи элементтерді

біріктіруді, стандарттау және жаппай өндіріс әдістерін және эксперименталды тәсілдерді зерттейді. Нәтижелер білім беру архитектурасы мен жоспарлаудың динамикалық сипатын көрсетеді, өзгермелі білім беру ландшафты мен қоғамның қажеттіліктерін көрсетеді. Мақала осы әдістердің Ресейдің білім беру жүйесінің дамуына және мектептердің архитектуралық-жоспарлау ұйымына әсерін бағалаумен аяқталады.

Түйін сөздер: сәулет, сәулеттік жоспарлау ұйымы, мектептер, сәулеттік жоспарлау құрылымы, кабинет жүйесі; типтік жобалар, функционалдық диаграмма.

A. Ozhet*, S.E. Mamedov

¹Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullina, Astana, Kazakhstan

Architectural and planning methods of formation of the evolution of educational organizations in Russia in the 20th century

Abstract. The article provides a comprehensive analysis of the architectural and planning methods used to develop comprehensive educational institutions in Russia during the 20th century. Drawing on historical records, educational policies, and architectural advancements, the study examines the evolution of school building designs, zoning and planning strategies, integration of natural elements, standardization and mass production techniques, and experimental approaches. The findings underscore the dynamic nature of educational architecture and planning, reflecting the evolving educational landscape and societal needs. The article concludes with an evaluation of the impact of these methods on the development of the Russian education system and the architectural planning of schools.

Keywords: architecture, architectural planning organization, schools, architectural planning structure, class-lesson system; standard projects, functional diagram.

References

1. Ivanov A. Petrov V. Architectural and Urban Planning Aspects of Soviet School Buildings/. s Eng. – Journal of Architecture and Urbanism, 2021. – 460 p.
2. Kuznetsova, I., Stepanov, V. The Evolution of School Architecture in the Post-War Soviet Union. Architectural Research Quarterly, 2019-238 p.
3. M.V. Petrova "Formation of the architectural style of the Soviet school: 1960-1980" Collins, M. (2021). Noise Pollution and Academic Performance. University of Southampton. - 168 p.
4. Belokon, A. V. "Architecture schools in Russia: XX century." Moscow: Izdatelstvo Arhitektur-S, 2003. Parkins, J. (2022). Safe School Transportation Planning. University of Berkeley. 54 s.
5. Glushkov, A. M. "Evolution of school architecture in the USSR: From avant-garde to typification." Vestnik Architecture and Construction, 2005. Sokolova, M. (2020). The problem of organizing parking zones near schools.
6. Ivanova, E. N. "Architectural and planning principles of the formation of educational institutions in the post-war period." Magazine Architectural Heritage, 2012.
7. Smirnova, L. A. "Development of school architecture in Russia". First half of the XX century." Dissertation, MARKHI, 2001 - 89 p.

8. Pozniak S.V. Architectural and planning organization of the school building in the information society: dis. kand.: 18.00.02 – Samara, 2009. – 264 с.
9. Dudek M. Architecture of schools: The new learning environments. – Routledge, 2012. - 62 p.
10. Recommendations for reconstruction and modernization of the existing background of school buildings in accordance with modern pedagogical requirements / Government of Moscow Moskomarchitektura, 1997. [Electronic resource]. - Access mode: <http://meganorm.ru/Data1/5/5393/index.htm>
11. Korovina E.I. Creation of model schools of a new model using the modular design principle // Collection of articles of the international research organization "Cognitio" based on the materials of the XVIII international scientific and practical conference: "Actual problems of science of the XXI century" - International research organization "Cognitio". - 2016. - 144 p.
12. Ivanov, A.N. "Modeling of placement of social infrastructure objects in urban conditions." Dissertation, Moscow State University, 2016.

Сведения об авторах:

Ожет А. – автор для корреспонденции, докторант PhD по специальности D-122 «Архитектура», Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан, проспект Женис, 62, 010000, Астана, Казахстан.

С.Э. Мамедов – доктор PhD, н.в. практик-доцент кафедры «Архитектура», Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан, проспект Женис, 62, 010000, Астана, Казахстан.

Ozhet. A. – author for correspondence, PhD student in the specialty-(D-122) "Architecture". S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Zhenis Avenue, 62, 010000, Astana, Kazakhstan

S E. Mamedov. – Doctor PhD, n.v. practice-associate professor of the Department of «Architecture» S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Zhenis Avenue, 62, 010000, Astana, Kazakhstan

Өжет А. – хат хабар үшін, (D-122) «Сәулет» мамандығы бойынша PhD докторанты, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Жеңіс даңғылы, 62, 010000, Астана, Қазақстан

С.Е.Мамедов. – PhD докторы, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті «Сәулет» кафедрасының практик-доценті, Жеңіс даңғылы, 62, 010000, Астана, Қазақстан



Copyright: © 2024 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 55.33.41

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-149-4-76-90>

Article

Approach for determination of geometric parameters of new oval design of rotor in innovative rotor-vibration type of mills

S.R. Baigereyev*¹, G.A. Guryanov¹, A.D. Suleimenov², R. Gabdyssalyk¹

¹D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

²Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan

(E-mail: *sbaigereyev@edu.ektu.kz)

Abstract. The principal disadvantages of mills utilised for fine and ultrafine grinding processes are the restricted product fineness and the low energy efficiency. As a solution of the problem, new principle of the grinding process and innovative design of rotor-vibration type of mill are proposed. The mill design is based on the Rebinder effect, which serves to reduce the particles strength and, consequently, increasing product fineness and energy efficiency. As an example of the rotor-vibration type of mill, the design including oval rotor, grinding media, vibration drive with spring elements is presented in the paper. The originality of the mill design is the oval shape of the rotor. However, due to the originality of the shape of oval rotor, there are no approaches to determining the geometric parameters of the rotor (major and minor semi-axis, height). Consequently, an approach is presented for determining the geometric parameters of a new oval-shaped rotor design in innovative rotary-vibratory type mills. The research results can be used in the design process of new mill designs based on rotor-vibration method of fine and ultrafine comminution.

Keywords: comminution process, bead mill, grinding media, geometric parameters, fineness of grinding, energy efficiency, mill design.

Received 18.09.2024. Revised 04.12.2024. Accepted 07.12.2024. Available online 31.12.2024

¹*the corresponding author

Introduction

The fine and ultrafine grinding process is applied in many technological operations [1]. Mills that employ grinding media as an instrument for transferring collision energy for grinded particles is one of the most widespread types of mills widely used in various industries [2].

Among the mills with operational principle based on the “grinding media-particles” collision, the most popular types of mill are stirred mills and vibration mills. Stirred mill is characterized by capability of obtaining fine and ultrafine product particle sizes. This is the reason of why the design of stirred mill is considered to be as a successful option for replacement of traditional ball mill. The main components of stirred mills are chamber, rotor, grinding media, and an electric motor (see Fig. 1) [3]. The chamber is filled with grinding media and grinded material.

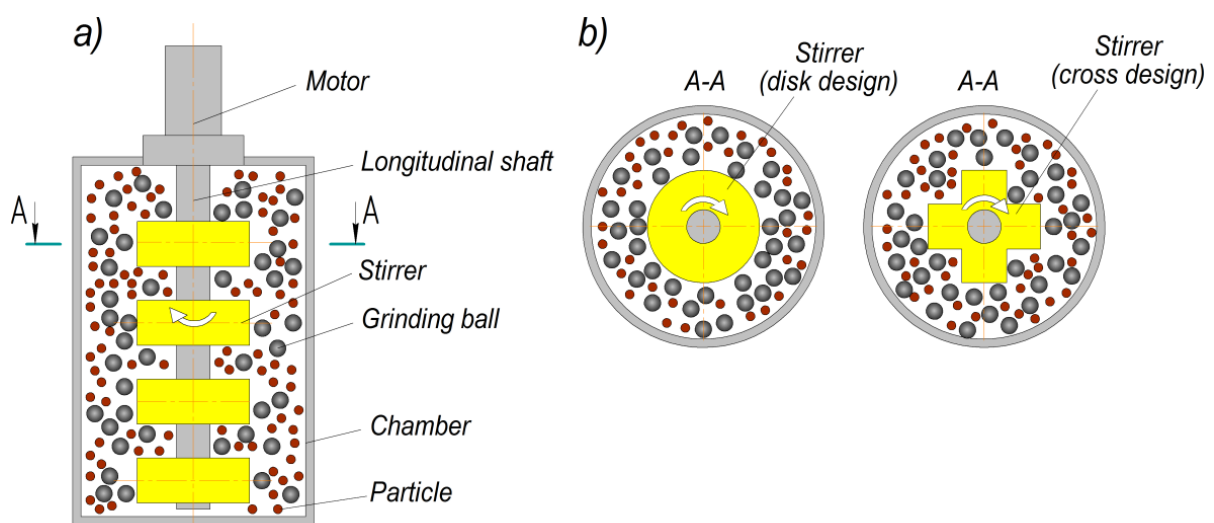


Figure 1. The traditional design of stirred mill

Note: compiled based on the data [3]

The electric motor contributes to the rotation of the rotor leading to the grinding media stirring. The comminution procedure is implemented owing to interaction between grinding media and the particles of grinded material [4].

However, as a result of design features the capability of providing high indexes of effectiveness (achieving the required product fineness and energy efficiency) is restricted in stirred mill. The reasons are connected with insufficient acceleration of grinding media caused by high chamber filling ratio, decrease in the concentration of grinding media in the zone of high kinetic energy, contradictions in the applying the shape of rotor. On the one hand, disk rotor provides high value of product fineness and energy efficiency. However, on the other hand, providing an intense circulation of grinding media using disk rotor is problematically. Thus, it should be resumed that the problem of increase in comminution process efficiency lies behind the design features of stirred mill.

The vibration mill consists of chamber, grinding media, and a vibration drive (see Fig. 2) [5].

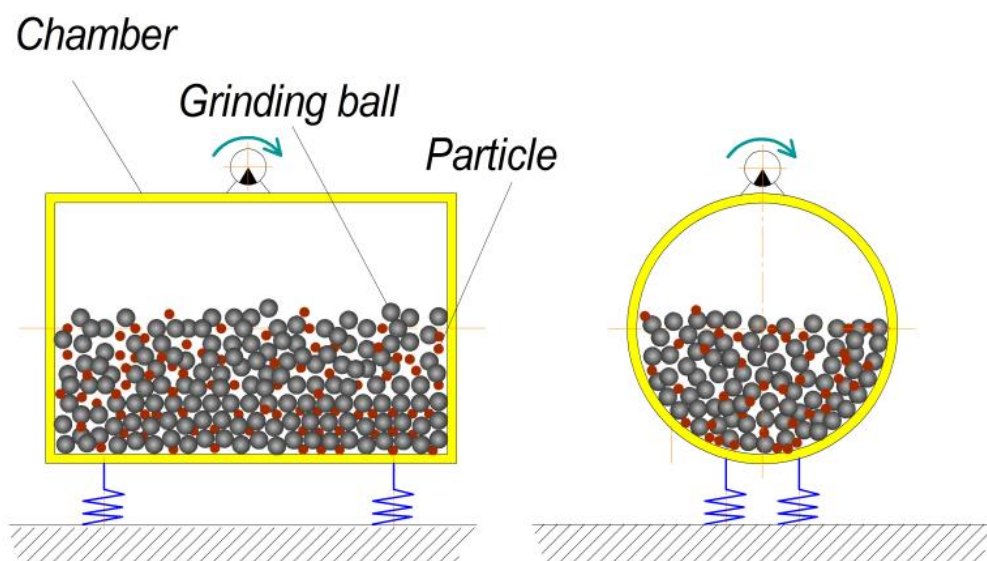


Figure 2. The parts of vibration mill

Note: compiled based on the data [5]

Vibration of the chamber leads to periodic collision of the grinding media with particles and, consequently, contributes to the reduction of particles size [6]. However, the design features of the vibration mill, increase in collision energy of grinding media is restricted. Thus, it is necessary to reconsider design of mill to increase the grinding efficiency.

In order to increase in efficiency of comminution process, new rotor-vibration type of mills is proposed [5]. The proposed rotor-vibration type of mills contributes periodic compressive and tensile stresses in the particle leading creation of Rebinder effect (decrease in the strength of the material due to the organization of alternating loads in the particle) (see Fig. 3).

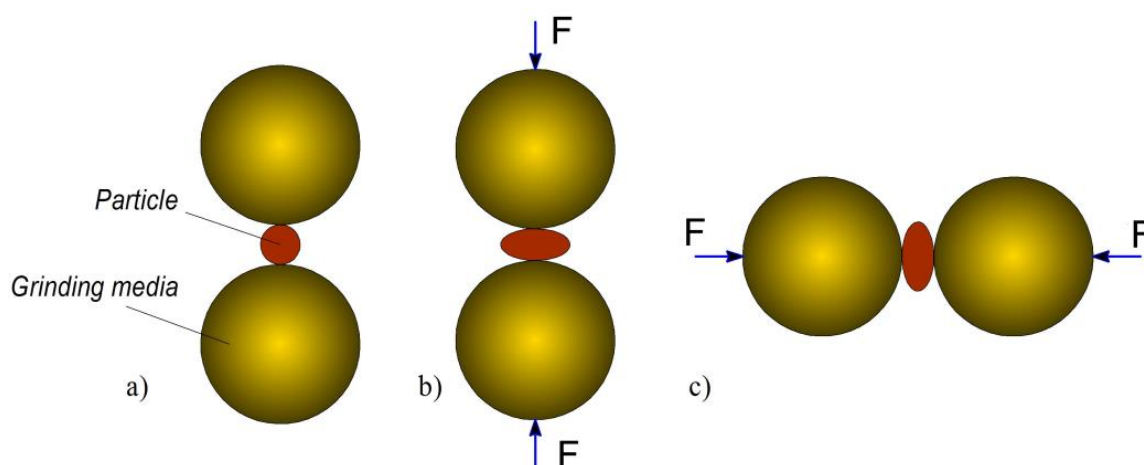


Figure 3. The principle of comminution in the new design of mill

Note: compiled based on the data [5]

The example of rotor-vibration mill design is illustrated in Fig. 4. The design of the mill comprises chamber, oval rotor, grinding media, electric motor, vibration drive, and spring elements [7]. The combination of the proposed design elements provides collisions of the grinding media in radial and axial directions.

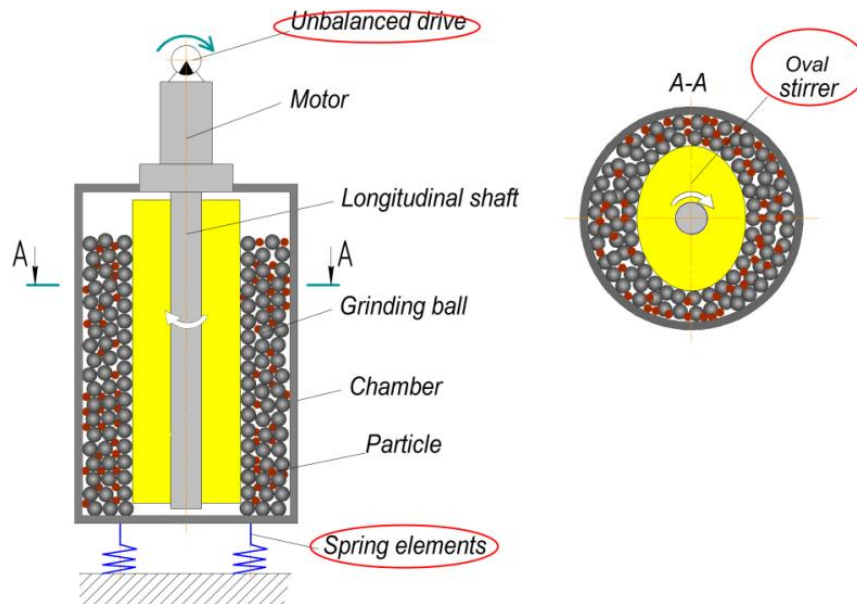


Figure 4. The proposed design of stirred mill

Note: compiled based on the data [3]

The design feature of the proposed mill is an oval rotor. The geometric parameters of the oval rotor are major semi-axis and minor semi-axes. Taking into account the fact that the design of the rotor is new, it is necessary to develop the approach for determination of the geometric parameters of rotor in dependence on energy consumption of the mill. Taking into account the operation principle of the mill the effect of the oval rotor parameters on the energy consumption of the mill should be conducted in combination with chamber diameter, grinding media filling ratio, and grinding media size.

The results of literature review showed that a range of papers dedicated to investigation of effect the geometric parameters on the efficiency of grinding process are conducted by other authors. One of the geometric parameters is chamber diameter. In the work [8], the principle of determination of the chamber diameter in stirred mills is considered. The investigation results showed that chamber diameter should be assign from providing maximum distance between rotor edge and chamber wall. The authors of the work [9] investigated the approach for determination of the chamber diameter depending on the technological and economic effectiveness of mineral material grinding in electromagnetic mill.

A set of research are dedicated to the investigation of the effect of the rotor design on the efficiency of the grinding process. For example, in the work [8], disk, wing and cross types of rotor design are investigated. The investigation results showed that disk rotor is characterized

by higher energy efficiency. The wing and cross rotors contribute to the intensive stirring process leading to increase in grinding efficiency. In the work [10], the geometric parameters of pin rotor are investigated. The research results showed that with increase in pin numbers, the grinding efficiency increases. However, increase in pin numbers lead to increase in energy consumption.

A set of investigations are dedicated to the selection of the grinding media size. In the paper [11], the authors proposed the approach for determination of the grinding media size comparing the process of the particle size reduction in stirred mills with crushing process of the piece of material in roller crusher. As a result, it is recommended to select the grinding media size based on the observance of the ratio of the grinding media size and the particle size of 20:1. The authors of the work [12] investigated the dependence between grinding media diameter and the amount of required energy. The research results showed that using the four groups of grinding media (19.5, 38 mm; 19.5, 50 mm; 38, 50 mm and 19.5, 38, 50 mm) the required energy is close in values. In the work [13], the approach for determination of the grinding media diameter in vibration mill is presented. According to the approach, the grinding media diameter is selected based on the desired grinding time. For example, applying 15 mm grinding media, compared to 12 mm, resulted in a 22.5% reduction in grinding time to achieve a product fineness of 0–10 μm .

A number of studies are connected with research of the chamber grinding media filling ratio. In the work [14], the effect of the grinding media filling ratio on the efficiency of the grinding process is investigated. According to the results, increase in media filling ratio, the number of grinding media collisions increases, however, the space for media acceleration is decreased. The authors of the work [15] set the mathematical dependence between grinding media filling ratio and required power and productivity of an industrial ball mill. The dependence leads to select the value of grinding media filling ratio. In the work [16], the authors propose new approach for calculation of the grinding media filling of the chamber. The approach includes new equations for determination of the grinding media filling ratio considering the volume in the conical ends and the volume occupied by the mill shell lifters. The authors of the work [17] investigate the effect of the grinding media filling ratio on the product fineness and energy consumption. The results of the research showed that while grinding media filling ratio increases, the grinding process efficiency increases.

However, the problem is that the existing approaches cannot be used for determination of the geometric parameters of the new type of mill called “rotor-vibration mills”. Presenting the current investigations as a model of “black box”, while the input of the system is geometric parameters of the oval rotor (major semi-axis, minor semi-axis), output is energy consumption of the grinding process.

The aim of this paper is to investigate new approach for determination of the geometrical parameters of the innovative design of oval rotor capable of increasing the product fineness and diminish energy consumption for comminution process.

The methodology

The geometrical parameters of the oval rotor are major and minor semi-axes. In order to justify aforementioned geometric parameters, it is necessary to accept some of parameters. Let us accept that initial particle size is 100 μm as an initial boundary value of fine grinding. Based

on the previous investigations conducted by other authors [18], the range of grinding media sizes applied in stirred media is 1.5...10 μm . Taking into account the fact that it is necessary to provide maximum productivity of the mill, let us accept that grinding media size is 10 mm.

In order to achieve effectiveness of the grinding process, it is necessary to provide placement at least two grinding media in the space between rotor extreme point and chamber wall, i.e.:

$$0,5D_{CH} - b \geq 2d_{GM} \quad (1)$$

Determination of the chamber diameter is conducted based on the required value of productivity Q of the proposed design of mill. The mill productivity Q defined as the volume of the grinded material per unit of time can be evaluated by the following formula:

$$Q = \frac{V_Q \cdot N_Q}{t_Q} \quad (2)$$

In Eq. (2), V_Q is the volume of interspherical channels, N_Q is the number of interspherical channels. According to the model, the grinded material moves through interspherical channels in a top-down direction over time [19]:

$$t_Q = \sqrt{\frac{2H_Q}{g}} \cdot K_{res} \quad (3)$$

In Eq. (3), N_Q is the total height of grinding media in the mill chamber, mm; K_{res} is coefficient of resistance to free movement of material leading to increase time t_Q ($K_{res} = 2.66$); g is acceleration of gravity ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$).

The value of the volume V_Q of one interspherical channel is calculated by multiplying the channel area S_Q and height H_Q :

$$V_Q = S_Q \cdot H_Q \quad (4)$$

The calculation of the area S_Q is conducted by difference of the area of an equilateral triangle ΔABC and areas of three sectors I, II and III. (Fig. 5):

$$S_Q = 0.0403d_{GM}^2 \quad (5)$$

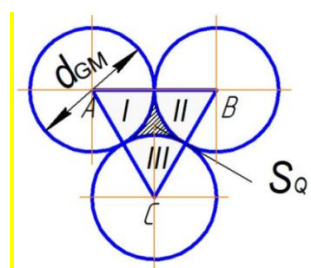


Figure 5. Interspherical channel

Note: compiled based on the data [19]

The total height of the grinding media in the chamber is determined by the following formula:

$$H_Q = \frac{2N_{GM} \cdot d_{GM}^2}{D_{CH}} \quad (6)$$

Based on Eqs. (5) and (6):

$$V_Q = \frac{0.0806 \cdot N_{GM} \cdot d_{GM}^4}{D_{CH}} \quad (7)$$

The total number of interperical channels can be calculated using the following formula:

$$N_Q = \frac{\sum V_{por}}{V_Q} \quad (8)$$

In Eq. (8), $\sum V_{por}$ is the volume of porosity. In order to calculate the parameter of $\sum V_{por}$ grinding media position is modelled as presented in Fig. 6.

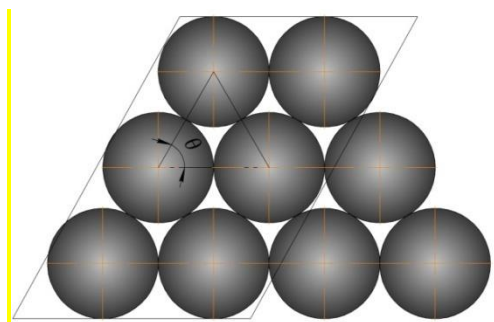


Figure 6. The scheme of grinding media position

Note: compiled based on the data [19]

As it follows from Fig. 6, space (porosity) is formed between the grinding media. The volume of the porosity can be calculated by the following formula:

$$\sum V_{por} = k_{por} \cdot \sum V_{GM}, \quad (9)$$

In Eq. (9), k_{por} is porosity coefficient. $k_{por} = 0,259$ for rhombic configuration of grinding media; $\sum V_{GM}$, is the total volume of grinding media, mm^3 .

Porosity coefficient k_{por} can be determined using Slichter's formula [19]:

$$k_{por} = 1 - \frac{\pi}{6 \cdot (1 - \cos\theta) \sqrt{1 + \cos\theta}}, \quad (10)$$

In Eq. (10), θ is the angle of intersection of the lines connecting the centers of the grinding media. With a rhombic configuration of media, $\theta = 60^\circ$. In this case, $k_{por} = 0.259$.

The total volume of the grinding media is determined by the following formula:

$$\sum V_{GM} = N_{GM} \cdot V_{GM} = 4.1888 \cdot N_{GM} R_{GM}^3, \quad (11)$$

In Eq. (11), V_{GM} is the volume of one grinding media, mm^3 ($V_{GM} = \frac{4}{3} \pi R_{GM}^3$). Taking into account Eqs. (8) and (9), Eq. (7) can be presented by the following way:

$$\sum V_{por} = 1.0849 \cdot N_{GM} R_{GM}^3 \quad (12)$$

Based on Eqs. (7) and (12), Eq. (8) can be presented as

$$N_Q = \frac{1.68 \cdot D_{CH}}{d_{GM}} \quad (13)$$

Taking into account Eqs. (7) and (13), the theoretical productivity of the the proposed mill is determined by the following formula:

$$Q = \frac{0.0677 \cdot d_{GM}^2 \cdot \sqrt{D_{CH} \cdot g}}{K_{res}} \quad (14)$$

Based on Eq. (14), chamber diameter is calculated by the following way:

$$D_{CH} = \frac{Q^2 \cdot K_{res}^2}{0.0045 \cdot d_{GM}^4 \cdot g} \quad (15)$$

Then, based on Eq. (1), the formula for calculation major semi-axis can be presented as

$$b = 0.5 D_{CH} - 2 d_{GM} \quad (16)$$

Findings/Discussion

Let us accept that targeted value of mill productivity is $Q = 10 \text{ kg/h}$. In this case, according to Eq. (18), the diameter chamber is $D_{CH} = 120 \text{ mm}$. The grinding media diameter $d_{GM} = 10 \text{ mm}$. Then, based on the Eq. (1), the value of major semi-axis of oval rotor is $b = 40 \text{ mm}$. Let us determine the value of minor semi-axis c varying in the range of $40 \text{ mm} < c \leq 2 \text{ mm}$. The justification of the value of minor semi-axes is based on the calculation of the product fineness and theoretical power expended for grinding media circulation.

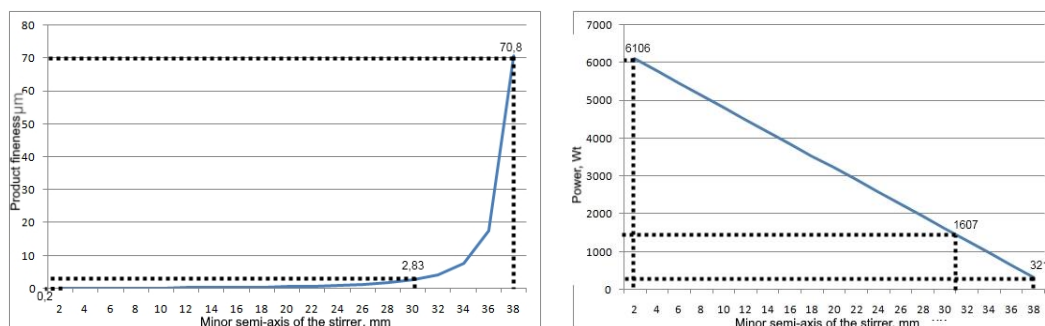
In Table 1, the results of calculation of the product fineness and theoretical power depending on the minor semi-axis varying are presented. The calculation of the values of product fineness and theoretical power presented in Table 1 is conducted using mathematical model developed by the authors of this paper presented in [19].

Table 1. Results of calculation of the dependence of theoretical product fineness and power for circulation of grinding media on the value of the minor semi-axis of an oval rotor [19]

c , mm	Product fineness, μm	Power, Wt
2	0.2	6106
4	0.22	5785
6	0.25	5463
8	0.28	5142
10	0.31	4820
12	0.36	4499
14	0.41	4178
16	0.49	3857
18	0.58	3535
20	0.7	3214
22	0.87	2893
24	1.1	2571
26	1.44	2250
28	1.97	1928
30	2.83	1607
32	4.43	1286
34	7.86	964
36	17.7	643
38	70.8	321

Note: compiled based on the data [19]

As it follows from Table 1, change the value of minor semi-axis from 2 mm to 38 mm leads to the change of the power from 321 Wt ($c = 38$ mm) to 6106 Wt ($c = 2$ mm). In Fig. 7, the graph of dependence of product fineness and power on the value of minor semi-axis is depicted.



- a) dependence of the product fineness on the value of minor semi-axis of the rotor,
- b) dependence of the power on the value of minor semi-axis of the rotor

Figure 7. The graph of dependence of product fineness and power on the value of minor semi-axis

Note: compiled based on the data [19]

It is obviously that the value of $c = 2$ mm corresponds to the maximum product fineness ($0.2 \mu\text{m}$). However, the power expended for grinding media circulation increases. Therefore, the value of minor semi-axis is selected based on the condition of providing product fineness not less than $5 \mu\text{m}$ and rational value of power expenditures. Therefore, let us accept that the value of semi-minor axis of oval rotor is $c = 30$ mm. Thus, the parameters of oval stirrer are major semi-axis $c = 30$ mm and minor semi-axis $b = 40$ mm.

The parameters of the spring elements are calculated based on the standard methods [20]. According to the calculations, number of turns of one spring is 6, spring diameter is 64 mm, thickness of spring coil is 6 mm, and spring stiffness coefficient is 8085 kN/mm^2 .

Conclusion

In this paper, geometrical parameters of new design of oval stirrer used in innovative rotor-vibration type of mill are investigated and determined. New design of mill provides more effective comminution process on the criteria of product fineness and energy efficiency. The features of the new design are using oval rotor and vibration drive with spring elements. The improvement of the design of mill leads to periodic compressive and tensile stresses in the particle that contributes creation of Rebinder effect. The results of investigations showed that the value of major semi-axis of ellipsoidal rotor is 40 mm, the value of minor semi-axis of ellipsoidal rotor is 30 mm. The parameters of the oval rotor are defined based on providing required product fineness and minimal energy consumption. The investigations results can be used in the process of production of effective design of rotor-vibration type of mill providing high product fineness and energy efficiency.

Acknowledgement, 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 (Grant No. AP22685023 – “Development of an energy-efficient method for fine grinding of materials”).

The contribution of the authors.

Baigereyev S. is responsible for development of the mill design, development of the approach for determination of the geometric parameters in the new type of mill.

G. Guryanov participates as a scientific consultant under conduction the research.

A. Suleimenov is responsible for literature review.

R. Gabyssalyk is consultant on the development of the design of mill.

Nomenclature

D_{CH} Chamber diameter

b Major semi-axis of oval rotor

c Minor semi-axis of oval rotor

d_{GM}	Grinding media diameter
Q	Mill productivity
V_Q	Volume of interspherical channels
N_Q	Number of interspherical channels
t_Q	Time of movement of the grinded material through interspherical channels
H_Q	Total height of grinding media
K_{res}	Coefficient of resistance to free movement of material
g	Acceleration of gravity
N_{GM}	Number of grinding media
φ_{GM}	Chamber filling ratio with grinding media
k_{por}	Porosity coefficient
$\sum V_{GM}$	Total volume of grinding media (without porosity)
$\sum V_{por}$	Volume of the porosity
θ	Angle of intersection of the lines connecting the centers of the grinding media
R_{GM}	Grinding media radius

References

1. Rhymer D., Ingram A., Sadler K., Windows-Yule C.R.K. Segregation in binary and polydisperse stirred media mills and its role on grinding effectiveness // Powder Technology.- 2024.- №. 443.
2. Sterling D., Breitung-Faes S., Kwade A. Improved energy transfer model for mechanistic scale-up of stirred media mills // Powder Technology. – 2024. - № 444.
3. Baigereyev S., Guryanov G. New method for increase in product fineness in stirred mills // Archives of Civil and Mechanical Engineering. – 2019. - №19. – pp. 768-778.
4. Guo W., Gao P., Tang Zh., Han Y., Meng X. Effect of grinding media properties and rotor tip speed on the grinding efficiency of a stirred mill // Powder Technology.- 2021.- №382.- pp. 556-565.
5. Baigereyev S., Guryanov G., Suleimenov A., Abdeyev B., Kim V. New method for materials comminution using grinding balls // International Review of Mechanical Engineering.- 2023. - №2.
6. Yuhao Zh., Guangchao H., Qingpeng G., Wenzhi Zh., Wei B. Experimental investigation on longitudinal torsional ultrasonic vibration milling for cortical bone // Journal of Manufacturing Processes.- 2024.- №120. - pp. 529-541.
7. Гурьянов Г.А., Байгереев С.Р. Устройство для тонкого измельчения материалов // Патент на изобретение РК №33204. МПК В02С 17/16. Опубл. 26.10.2018, Бюл. №40.
8. Altun O., Benzer H., Enderle U. The effects of chamber and rotor design on dry horizontal stirred mill performance // Minerals Engineering. - 2014.- №69.- pp. 24-28.
9. Krawczykowski D., Foszcz D., Ogonowski S., Gawenda T., Wołosiewicz-Głąb M. Analysis of the working chamber size influence on the effectiveness of grinding in electromagnetic mill // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – Zawiercie, 2018. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/427/1/012033>

10. Osborne T., Rhymer D., Werner D., Ingram A., Windows-Yule C.R.K. Investigating the impact of impeller geometry for a stirred mill using the discrete element method: Effect of pin number and thickness // Powder Technology.- 2023.- №428.
11. Mankosa M.J., Adel G.T., Yoon R.H. Effect of media size in stirred ball mill grinding of coal // Powder Technology. – 1986. – № 49. – P. 75-82.
12. Abdelhaffez G.S., Ahmed A.A., Haitham M.A. Effect of grinding media on the milling efficiency of a ball mill // The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin. – 2022. - №38. – pp. 171-177. <https://doi.org/10.17794/rgn.2022.2.14>
13. Tomach P. The Influence of the Grinding Media Diameter on Grinding Efficiency in a Vibratory Ball Mill // Materials.- 2024.- №17. <https://doi.org/10.3390/ma17122924>
14. Jayasundara C.T., Yang R.Y., Yu A.B., Rubenstein J. Effect of disc rotation and media loading on particle flow and grinding performance in a horizontal stirred mill // International Journal of Mineral Processing.- 2010.- №96.- pp. 27-35.
15. Jianwen Y., Yonghong Q., Peng G., Yuexin H., Yanjun L. An innovative approach for determining the grinding media system of ball mill based on grinding kinetics and linear superposition principle // Powder Technology.- 2021.- №378. – p. 172-181.
16. Hilden M.M., Powell M.S., Yahyaei M. An improved method for grinding mill filling measurement and the estimation of load volume and mass // Minerals Engineering.- 2021. - №160.
17. Wang G., Peng G., Zhidong T., Yuexin H., Xiangzhi M. Effect of grinding media properties and rotor tip speed on the grinding efficiency of a stirred mill // Powder Technology.- 2021.- №382.- pp. 556-565
18. Jayasundara C.T., Yang R.Y., Yu A.B. Effect of the size of media on grinding performance in stirred mills // Minerals Engineering.- 2012.- pp. 66-71.
19. Байгереев С.Р. Обоснование параметров и создание конструкции роторно-вибрационного измельчителя с разработкой технологии изготовления: диссертация на соискание степени доктора философии (PhD): 6D071200. – ВКТУ им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, 2019 – 172 с.
20. Иванов М.Н. Детали машин. Учебник для вузов. – М.: Изд-во «Высшая школа», 1976. - 399 с.

С.Р. Байгереев*¹, Г.А. Гурьянов¹, А.Д. Сулейменов², Р. Ғабдысалық¹

¹*Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан*

²*Торайғыров университеті, Павлодар, Қазақстан*

Инновациялық роторлы-діріл диірмендерінде жаңа сопақ ротордың конструкциясының геометриялық параметрлерін анықтау тәсілі

Аңдатпа. Ұсақ және аса ұсақ ұнтақтау процесінде қолданылатын диірмендердің негізгі кемшіліктері ретінде өнімнің ұсақталу дәрежесінің шектелуі мен энергия тиімділігінің төмендігі атап өтіледі. Бұл мәселені шешу үшін ұнтақтау процесінің жаңа принципі мен ротор-вибрациялық типтегі диірменнің инновациялық жобасы ұсынылады. Диірменнің жобасының негізі – бөлшектердің беріктігін төмендететін және нәтижесінде өнімнің ұсақталу дәрежесі мен энергия тиімділігін арттыратын Ребиндер әсері. Ротор-вибрациялық типтегі диірменнің мысалы ретінде, мақалада сопақ роторды, ұнтақтаушы ортаны, серіппелі элементтері бар

вибрациялық жетек жүйесін қамтитын конструкция ұсынылады. Диірмен жобасының ерекшелігі оның араластырғышының сопақ пішінінде жатыр. Дегенмен, сопақ ротор пішінінің ерекшелігіне байланысты, ротордың геометриялық параметрлерін (негізгі және кіші жартыосі, биіктігі) анықтауға қатысты ешқандай әдістер жоқ. Осыған байланысты инновациялық ротор-вибрациялық типтегі диірмендердегі жаңа сопақ конструкцияның геометриялық параметрлерін анықтау әдісі ұсынылады. Зерттеу нәтижелері жаңа диірмен конструкцияларын жобалау процесінде, ұнтақтаудың ұсақ және аса ұсақ әдісі негізінде қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: ұсақтау процесі, бисерлік ұсақтағыш, ұнтақтау ортасы, геометриялық параметрлер, өнімнің ұсақтығы, энергия тиімділігі, ұсақтағыштың конструкциясы.

С.Р. Байгереев*¹, Г.А. Гурьянов¹, А.Д. Сулейменов², Р. Ғабдысәлік¹

¹*Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,
Усть-Каменогорск, Казахстан*

²*Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан*

Подход к определению геометрических параметров новой овальной конструкции ротора в инновационных мельницах роторно-вибрационного типа

Аннотация. Среди основных недостатков мельниц, используемых для процесса тонкого и сверхтонкого измельчения, выделяются ограниченная тонкость продукта и низкая энергетическая эффективность. В качестве решения проблемы предлагается новый принцип процесса измельчения и инновационное решение конструкции мельницы роторно-вибрационного типа. В основе конструкции мельницы – эффект Ребиндера, снижающий прочность частиц и, следовательно, увеличивающий тонкость продукта и энергетическую эффективность. В качестве примера мельницы роторно-вибрационного типа в статье представлена конструкция, включающая овальный ротор, измельчающие тела и вибрационный привод с пружинными элементами. Оригинальность конструкции мельницы заключается в овальной форме ротора. Однако, из-за оригинальности формы овального ротора, отсутствуют подходы для определения геометрических параметров ротора (большая и малая полуоси, высота). В связи с этим, представлен подход для определения геометрических параметров новой овальной конструкции ротора в инновационных мельницах роторно-вибрационного типа. Результаты исследования могут быть использованы в процессе проектирования новых конструкций мельниц, основанных на роторно-вибрационном методе тонкого и сверхтонкого измельчения.

Ключевые слова: процесс измельчения, бисерная мельница, мелющие тела, геометрические параметры, тонкость помола, энергоэффективность, конструкция мельницы.

References

1. Rhymer D., Ingram A., Sadler K., Windows-Yule C.R.K. Segregation in binary and polydisperse stirred media mills and its role on grinding effectiveness // Powder Technology. - 2024.- №. 443.

2. Sterling D., Breitung-Faes S., Kwade A. Improved energy transfer model for mechanistic scale-up of stirred media mills // Powder Technology. – 2024. - № 444.
3. Baigereyev S., Guryanov G. New method for increase in product fineness in stirred mills // Archives of Civil and Mechanical Engineering. – 2019. - №19. – pp. 768-778.
4. Guo W., Gao P., Tang Zh., Han Y., Meng X. Effect of grinding media properties and rotor tip speed on the grinding efficiency of a stirred mill // Powder Technology.- 2021.- №382.- pp. 556-565.
5. Baigereyev S., Guryanov G., Suleimenov A., Abdeyev B., Kim V. New method for materials comminution using grinding balls // International Review of Mechanical Engineering.- 2023. - №2.
6. Yuhao Zh., Guangchao H., Qingpeng G., Wenzhi Zh., Wei B. Experimental investigation on longitudinal torsional ultrasonic vibration milling for cortical bone // Journal of Manufacturing Processes.- 2024.- №120. - pp. 529-541.
7. Гурьянов Г.А., Байгереев С.Р. Устройство для тонкого измельчения материалов // Патент на изобретение РК №33204. МПК В02С 17/16. Опубл. 26.10.2018, Бюл. №40.
8. Altun O., Benzer H., Enderle U. The effects of chamber and rotor design on dry horizontal stirred mill performance // Minerals Engineering. - 2014.- №69.- pp. 24-28.
9. Krawczykowski D., Foszcz D., Ogonowski S., Gawenda T., Wołosiewicz-Głąb M. Analysis of the working chamber size influence on the effectiveness of grinding in electromagnetic mill // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – Zawiercie, 2018. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/427/1/012033>
10. Osborne T., Rhymer D., Werner D., Ingram A., Windows-Yule C.R.K. Investigating the impact of impeller geometry for a stirred mill using the discrete element method: Effect of pin number and thickness // Powder Technology.- 2023.- №428.
11. Mankosa M.J., Adel G.T., Yoon R.H. Effect of media size in stirred ball mill grinding of coal // Powder Technology. – 1986. – № 49. – P. 75-82.
12. Abdelhaffez G.S., Ahmed A.A., Haitham M.A. Effect of grinding media on the milling efficiency of a ball mill // The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin. – 2022. - №38. – pp. 171-177. <https://doi.org/10.17794/rgn.2022.2.14>
13. Tomach P. The Influence of the Grinding Media Diameter on Grinding Efficiency in a Vibratory Ball Mill // Materials.- 2024.- №17. <https://doi.org/10.3390/ma17122924>
14. Jayasundara C.T., Yang R.Y., Yu A.B., Rubenstein J. Effect of disc rotation and media loading on particle flow and grinding performance in a horizontal stirred mill // International Journal of Mineral Processing.- 2010.- №96.- pp. 27-35.
15. Jianwen Y., Yonghong Q., Peng G., Yuexin H., Yanjun L. An innovative approach for determining the grinding media system of ball mill based on grinding kinetics and linear superposition principle // Powder Technology. – 2021.- №378. – p. 172-181.
16. Hilden M.M., Powell M.S., Yahyaei M. An improved method for grinding mill filling measurement and the estimation of load volume and mass // Minerals Engineering.– 2021. - №160.
17. Wang G., Peng G., Zhidong T., Yuexin H., Xiangzhi M. Effect of grinding media properties and rotor tip speed on the grinding efficiency of a stirred mill // Powder Technology.- 2021.- №382.– pp. 556-565
18. Jayasundara C.T., Yang R.Y., Yu A.B. Effect of the size of media on grinding performance in stirred mills // Minerals Engineering. - 2012.- pp. 66-71.
19. Baigereyev S.R. Obosnovanie parametrov i sozdanie konstrukcii rotorno-vibracionnogo izmel'chatelya s razrabotkoj tekhnologii izgotovleniya: dissertaciya na soiskanie stepeni doktora

filosofii (PhD): 6D071200. – VKTU im. D. Serikbaeva, Ust'-Kamenogorsk, 2019 – 172 s. [Justification of parameters and creation of a design for a rotary-vibratory grinder with development of manufacturing technology: PhD dissertation] (Ust-Kamenogorsk, 2019, 172 p.)

20. Ivanov M.N. Detali mashin. Uchebnik dlya vuzov. – M.: Izd-vo «Vysshaya shkola», 1976. - 399 s. [Machine Parts. Textbook for Universities] (Moscow, 1976, 399 p.)

Information about the authors:

Baigereyev S.R. – Corresponding author, PhD, Associate Professor, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Serikbayev str., 19, 070003, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan;

Guryanov G.A. – Candidate of Technical Sciences, Professor, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Serikbayev str., 19, 070003, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan;

Suleimenov A.D. – PhD, Senior Lecturer, Toraigyrov University, Lomov str., 64, 140008, Pavlodar, Kazakhstan;

Gablyssalyk R. – PhD, Associate Professor, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Serikbayev str., 19, 070003, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

Байгереев С.Р. – автор для корреспонденции, доктор PhD, ассоциированный профессор, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, ул. Серикбаева, 19, 070003, Усть-Каменогорск, Казахстан;

Гурьянов Г.А. – к.т.н., профессор, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, ул. Серикбаева, 19, 070003, Усть-Каменогорск, Казахстан;

Сулейменов А.Д. – доктор PhD, старший преподаватель, Торайгыров университет, ул. Ломова, 64, 140008, Павлодар, Казахстан;

Габдысалиқ Р. – доктор PhD, ассоциированный профессор, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, ул. Серикбаева, 19, 070003, Усть-Каменогорск, Казахстан

Байгереев С.Р. – хат хабар үшін авторы, PhD докторы, қауымдастырылған профессоры, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Серікбаев к., 19, 070003, Өскемен, Қазақстан;

Гурьянов Г.А. – т.ғ.к., профессор, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Серікбаев к., 19, 070003, Өскемен, Қазақстан;

Сулейменов А.Д. – PhD докторы, аға оқытушы, Торайгыров университеті, Ломов к., 64, 140008, Павлодар, Қазақстан;

Габдысалиқ Р. – PhD докторы, қауымдастырылған профессор, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Серікбаев к., 19, 070003, Өскемен, Қазақстан.



Copyright: © 2024 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/10.32523/2616-7263-2024-149-4-91-103>

Article

Civil aviation and its impact on the country's economy

M.E. Kalekeyeva*¹, G.V. Muratbekova¹, O.V. Garmash¹, Z.E. Konakbay¹

«Academy of Civil Aviation», Almaty, Kazakhstan

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

Abstract. Civil aviation plays a key role in the modern global economy, providing connectivity between countries and cities, stimulating tourism, trade and business. This article examines the impact of civil aviation on the country's economy, as well as the benefits it brings. Civil aviation contributes to the development of tourism, making it more accessible and attractive due to convenient flights. The influx of tourists increases the demand for hotels, restaurants, transport and entertainment, which leads to the growth of the tourism industry and the creation of new jobs.

Civil aviation also facilitates international trade by providing fast and efficient delivery of goods, which contributes to the expansion of world markets and an increase in international trade. It maintains business relationships, allowing businessmen to easily make business trips and establish international connections. The development of the aviation industry, including aircraft manufacturing and maintenance, as well as airport infrastructure, creates jobs and attracts investment.

Examples from the United States, Qatar and China demonstrate how civil aviation contributes to economic growth and development. Investments in aviation infrastructure and education play an important role in maintaining and developing this industry. Civil aviation stimulates the economy through tourism, trade, business and innovation, making it an important engine of economic development.

Keywords: civil aviation, economy, international trade, investments, aviation infrastructure.

Received 19.09.2024. Revised 03.12.2024. Accepted 03.12.2024. Available online 31.12.2024

¹*the corresponding author

Introduction

Civil aviation plays a key role in the modern global economy, providing connectivity between countries and cities, stimulating tourism, trade and business [1]. Its importance for the economic development of the country cannot be overestimated. Let's look at how civil aviation affects the economy and what benefits it brings [2].

Civil aviation significantly contributes to the development of tourism. It makes the world more accessible and inviting for tourists [3]. The growth in the number of available flights and the expansion of the range of destinations has contributed to the increased accessibility and attractiveness of tourism. A "convenient flight" is characterized by certain parameters (Figure 1).

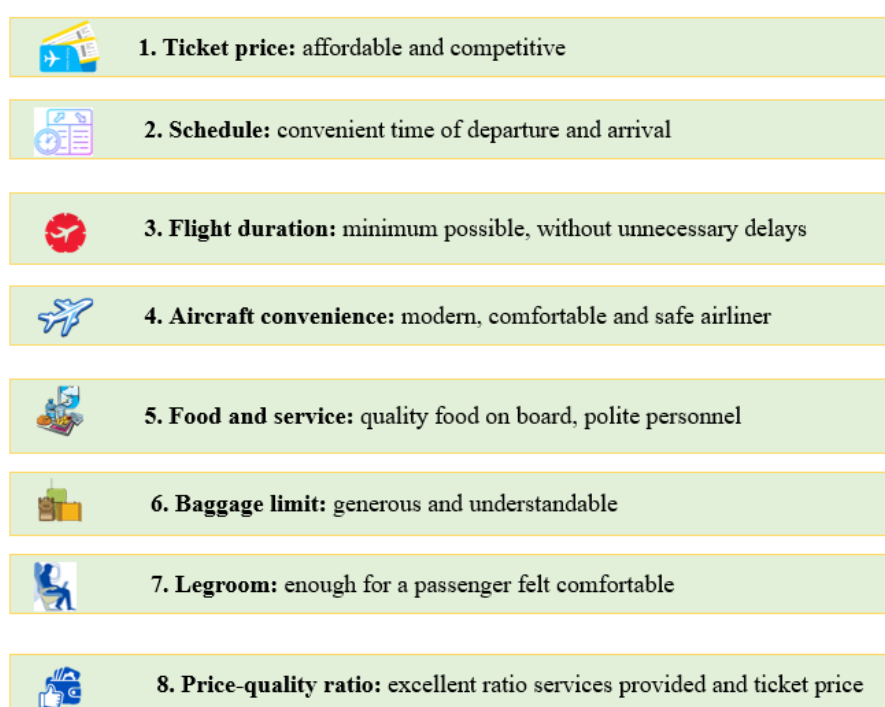


Figure 1. "Convenient flight" parameters

These parameters are important for creating a pleasant and comfortable flight for air passengers.

The arrival of tourists creates demand for various services such as hotel accommodation, restaurants, transportation, shopping and entertainment. This contributes to the growth of the tourism industry and the creation of new jobs, which in turn increases income and invests money in the country's economy [3].

Civil aviation plays an important role in the development of international trade. It provides fast and efficient delivery of goods worldwide. Companies can quickly and easily import and export goods, which contributes to the expansion of global markets and an increase in international trade.

It also contributes to the growth of logistics infrastructure such as airports and cargo terminals, which creates new jobs and investments in the transport sector.

Civil aviation plays an important role in maintaining business relationships. Thanks to the possibility of fast and comfortable flights, businessmen can easily make business trips around the world. This contributes to the establishment and maintenance of international business ties, attracting investments and creating opportunities for new transactions and cooperation.

The creation and maintenance of civil aviation contributes to the development of the aviation industry in the country. This includes aircraft manufacturing, maintenance and repair, airport infrastructure and many other aspects. The development of this industry creates jobs and promotes innovation [4].

The presence of large air carriers and international airports can attract investments from abroad. Foreign companies and investors can see the potential in a country with developed civil aviation and invest in it, creating new jobs and contributing to economic growth. Civil aviation has a significant impact on the country's economy, stimulating tourism, trade, business and innovation (Figure 2) [5].

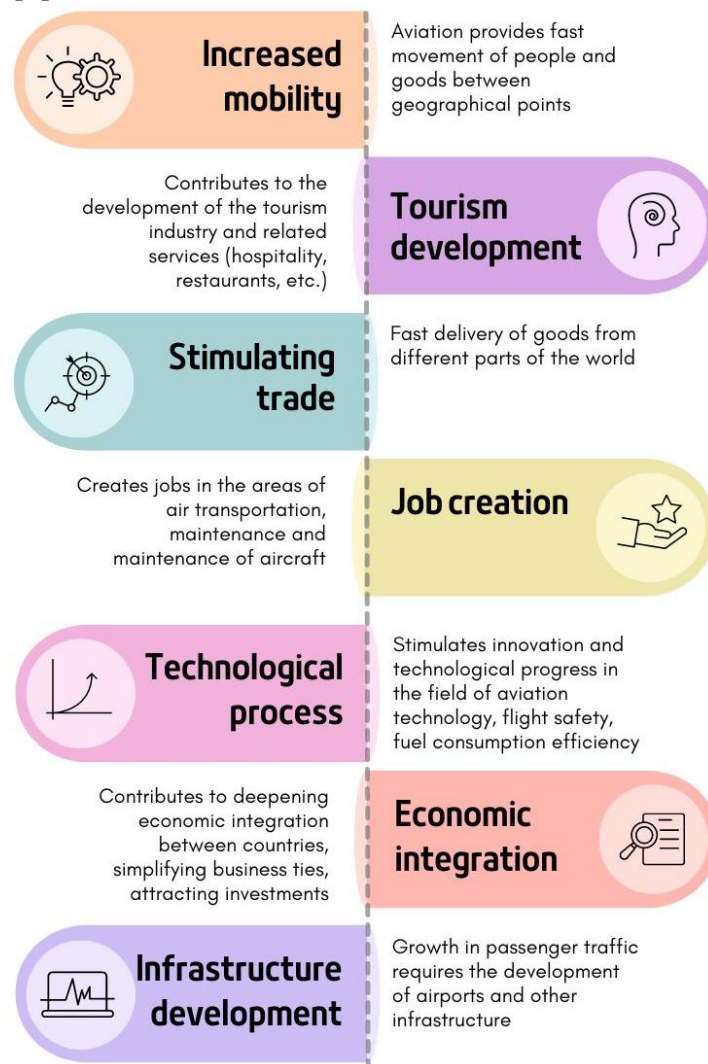


Figure 2. Ways to stimulate the economy through the civil aviation industry

Investing in this industry, including education and training, has the potential to strengthen this contribution and make aviation an engine of economic development.

The share of revenue generated by civil aviation from passenger and cargo transportation can vary significantly depending on the country, region, size of the aviation industry and other factors. However, you can provide a general overview.

In most countries, passenger transportation accounts for the bulk of civil aviation revenues. Income from the sale of air tickets, additional services (for example, business class, additional baggage spaces) and payments for airport services (for example, take-off and landing) make a significant contribution to the economy. The share of revenue from passenger transportation can range from 60% to 90% or more of the total revenue of civil aviation in various countries [6].

Revenues from freight transportation are also significant, but they usually make up a smaller percentage compared to passenger transportation. Cargo aviation covers the transportation of goods, including goods, mail and other goods. The share of revenue from cargo transportation can vary from 10% to 30% or more of the total revenue of civil aviation [6].

These percentages may change over time and depend on economic development, changes in trade flows, and even the impact of crises such as the COVID-19 pandemic, which has had a serious impact on civil aviation and led to a decrease in passenger traffic.

The methodology

Civil aviation has a different impact on the economies of different countries, depending on their size, geographical location, industry development and other factors. Let's look at some examples (Table 1).

Table 1. The impact of civil aviation on the economies of countries

№	Countries	The impact of civil aviation on the economies of countries
1	United States of America	<ul style="list-style-type: none"> - GA is part of the American economy; - has one of the most developed aviation industries in the world; - there are the largest American airlines (Delta Air Lines, American Airlines and United Airlines); - support for tourism and trade; - Boeing is the largest American manufacturer of commercial airliners; - Boeing and Airbus are investing heavily in research and development, contributing to technological progress in the field of aviation.
2	The State of Qatar	<ul style="list-style-type: none"> - investments in the development of aviation infrastructure; - Construction of Hamad International Airport in Doha; - development of Qatar Airways; - it is one of the major hubs for international transfers/; - assistance in increasing the transit and tourist flow.
3	People's Republic of China	<ul style="list-style-type: none"> - Air China and other Chinese carriers are major global players in the civil aviation industry;

		<ul style="list-style-type: none"> – development of tourism and business trips to China; – investments in aircraft production and in the Chinese company COMAC (Commercial Aircraft Corporation of China – "Commercial Aviation Corporation of China")
A source: [7], [8], [9]		

From the examples considered, it is clear how civil aviation has affected the economies of different countries.

In the United States, civil aviation is a key component of the American economy. The United States has one of the largest and most developed aviation industries in the world. American airlines such as Delta Air Lines, American Airlines and United Airlines generate billions of dollars in passenger revenue. Also, aviation giants Boeing and Airbus have a strong impact on the American economy as aircraft manufacturers. Civil aviation also supports tourism and international trade, contributing to economic growth [7].

One of the most developed and technologically advanced countries in the Persian Gulf, the Emirate of Qatar has invested in the development of aviation infrastructure, including the construction of Hamad International Airport in Doha and the development of Qatar Airways. This has led to Qatar becoming a key global hub for international transfers, which contributes to the growth of tourism and business development. Civil aviation has had a huge impact on the Qatari economy, contributing to an increase in transit and tourist flow [8].

In the People's Republic of China, civil aviation has shown rapid growth in recent decades. The Chinese airline Air China and other Chinese carriers have become major global players. This growth has contributed to the development of tourism and business trips to China, as well as strengthening international trade ties. In addition, China has also invested in aircraft manufacturing, and Chinese companies such as COMAC have begun to compete in the global market [9].

These examples show how civil aviation can have a significant impact on the economy by stimulating trade, tourism and infrastructure investment.

Investments in education can vary significantly from country to country and depend on government policies, available resources, and other factors. The following is an overview of investments in education in these countries:

1. The United States of America: The United States is one of the countries with the highest level of investment in education. Federal and state governments provide funds for education, including funding for schools, universities, and research programs. Separately, it should be borne in mind that the United States also has many private educational institutions. United States of America: The United States has one of the largest education systems in the world. In 2021, the budgets of the states and the federal government of the United States together allocated significant funds for education, totaling more than \$ 700 billion [10].

2. Singapore: Singapore, a small city-state in Southeast Asia, is successfully developing its civil aviation. Changi Airport in Singapore is considered one of the best in the world and serves as a key transit hub for passengers. Civil aviation contributes to tourism, international trade and business events, which has a positive impact on the country's economy. Singapore is considered

one of the countries with a high level of investment in education. In 2021, the Singapore government allocated more than \$13 billion for education, which is a significant share of the country's budget [11].

3. Emirates (UAE): Civil aviation has had a strong impact on the UAE economy, in particular Dubai and Abu Dhabi. They have invested in the development of aviation infrastructure, creating many global hubs for transfers. This has contributed to the influx of tourists, business personnel and investments, economic diversification and job creation. The UAE also attaches great importance to education. In 2021, they allocated more than 10% of their budget to education, including investments in the creation of universities and educational research programs [12].

4. Turkey: Civil aviation plays an important role in Turkey's tourism industry. Airports in Istanbul and other major cities of the country provide convenience for millions of tourists, which contributes to tourism revenue and job creation. In 2021, Turkey allocated more than 5% of its budget to education, which means significant funding for its education system [13].

5. Kazakhstan: Kazakhstan is also investing in education as part of a program to modernize the educational system. This includes the development of higher education, the support of scientific research and the stimulation of training at international levels, and also seeks to develop civil aviation, especially through the development of airports and cooperation with international airlines. This helps to attract foreign tourists and investments. Kazakhstan is also investing in education, aiming to improve the quality of education and the development of its universities. In previous years, Kazakhstan allocated 4-5% of its budget to education [14].

Findings/Discussion

To analyze the income from aviation activities at airports in Kazakhstan and the connection of this factor with investments in personnel education, we will present two large airports in Kazakhstan: Almaty and Nur Sultan (Astana).

Almaty Airport is the largest airport in Kazakhstan and one of the busiest in the country. It handles a large volume of passenger traffic, including domestic and international flights, and Almaty is the economic and cultural center of Kazakhstan.

Nur Sultan Nazarbayev Airport (formerly Astana Airport) serves the capital of Kazakhstan and is an important air hub in the region. It also has both domestic and international flights, connecting the capital with other parts of the country and the world. This airport plays an important role in the development of the capital's economy [15].

The relationship between these revenues and investments in human resources education may be as follows:

- If one of the airports has more qualified and educated staff (for example, air staff, technical staff, management staff), this can contribute to a more efficient and high-quality operation of the airport and, consequently, an increase in revenue.
- Education and training can also improve the safety and reliability of aviation operations, which can lead to a more attractive airport for airlines and passengers, increasing revenue.

Investing in civil aviation education: the key to development and safety

Civil aviation plays an important role in the modern global economy and provides efficient transport links between cities and countries. However, to ensure the efficiency, safety and sustainability of the aviation industry, it is necessary to invest in education in this area. In this chapter, we will consider what investing in education in the field of civil aviation gives and why it is so important (Figure 3) [16].



Figure 3. The advantage of investing in civil aviation education

One of the key aspects of investing in civil aviation education is the training of highly qualified specialists. Pilots, engineers, technical staff and dispatchers play a crucial role in ensuring flight safety and reliability of air transport. Their training requires specialized knowledge and skills.

Investments in education make it possible to create modern training programs and equipped classrooms, laboratories and simulators where future professionals can acquire practical skills and experience. Education also includes training in compliance with safety standards and regulations, which helps to reduce the risk of aviation incidents [17].

Civil aviation is constantly evolving, introducing new technologies and innovations. Investments in education make it possible to train personnel capable of working with modern aviation systems, on-board electronics and software. This helps the aviation industry to be competitive and efficient.

Education also supports research and development in the field of aviation. Scientists and engineers trained in higher education institutions can work on the development of new technologies that will improve the safety, efficiency and environmental sustainability of aviation.

Investments in education also support the development of leaders and managers in the aviation industry. The management of airlines, airports and the regulation of aviation requires high qualifications and an understanding of the specifics of the industry.

Aviation education programs can provide future managers with the necessary knowledge about strategic management, aviation economics, and legislation. This contributes to the effective management of aviation organizations and their sustainable development.

Investments in education relate not only to technical aspects, but also to the safety culture in civil aviation. Training of personnel is extremely important to comply with safety standards and minimize risks.

The higher the level of education and training of aviation specialists, the more effectively they are able to make the right decisions in difficult situations and manage risks. This is important to maintain the safety of passengers and cargo transportation. Educational programs in civil aviation promote international cooperation, knowledge sharing and transfer of best practices and technologies between countries. This contributes to the globalization and development of international air transportation [16].

Conclusions

Investing in civil aviation education is a critical factor for the development, safety and efficiency of this industry. Highly qualified specialists, modern technologies, management skills and a safety culture are all supported by education and training. These investments not only contribute to economic growth, but also make aviation more accessible and safer for everyone.

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

Konakbai Z.E. – 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

1. Vozdushnaya logistika – e`ffektivny`j transport budushhego dlya mgnovenny`x dostavok i uluchsheniya global`noj e`konomiki // <https://logistics.by/blog/vozdushnaya-logistika-effektivnyj-transport-budushhego-dlya-mgnovennyh-dostavok-i-uluchsheniya-globalnoj-ekonomiki> (data obrasheniya 20.07.2024g.)

2. Interesy` passazhirov dolzhny` byt` klyuchevym` prioritetom // <https://primeminister.kz/ru/news/interesy-passazhirov-dolzhny-byt-klyuchevym-prioritetom-alikhan-smailov-o-razvitiigrazhdanskoy-aviatsii-rk-24281> (data obrashheniya 18.07.2024g.)
3. Vse bol`she kitajskix turistov predpochitayut puteshestvovat` v Kazaxstan // <https://travelpress.kz/news/main/vse-bolshe-kitajskih-turistov-predpochitayut-puteshestvovat-v-kazahstan-1812> (data obrashheniya 20.07.2024g.)
4. K.Koshekov, M. Kalekeyeva, B.Seidakhmetov, G. Kaliyeva, I. Assilbekova, M. Gozhakhmetova.(2024). Monitoring of aviation personnel potential according to the competence approach. Eastern-European Journal of Enterprice Tecnologies, 1(3(127)), 64-77. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298479>
5. Kak kazaxstanskaya aviaciya formiruet budushhee otrasli // <https://top-news.kz/kak-kazahstanskaja-aviaciya-formiruet-budushhee-otrasli/> (data obrashheniya 23.07.2024g.)
6. Osnovny`e pokazateli otrasli grazhdanskoj aviacii demonstriruyut stabil`nyj rost // <https://bizmedia.kz/2023-12-07-osnovnye-pokazateli-otrasli-grazhdanskoj-aviaczii-demonstriruyut-stabilnyj-rost/> (data obrashheniya 22.07.2024g.)
7. Vozdushnyj transport: aviaciya i samolety` SShA // <https://aircraft.jofo.me/1036492.html> (data obrashheniya 15.07.2024g.)
8. O roli gruppy` kompanij Qatar Airways v e`konomicheskom razvitii Katara // <http://www.iimes.ru/?p=62020> (data obrashheniya 23.07.2024g.)
9. Rost passazhirskogo vozdushnogo flota KNR // <https://avia.pro/blog/rost-passazhirskogo-vozdushnogo-flota-knr> (data obrashheniya 15.07.2024g.)
10. Kakaya strana bol`she vsego tratit na obrazovanie? // <https://ru.icotokenfund.com/what-country-spends-most-education> (data obrashheniya 15.07.2024g.)
11. Pochemu sistema obrazovaniya v Singapore yavlyaetsya odnoj iz luchshix v mire? // <https://standard.kz/ru/post/pochemu-sistema-obrazovaniya-v-singapore-yavlyaetsya-odnoi-iz-lucsix-v-mire> (data obrashheniya 23.07.2024g.)
12. Pochemu vy`sshee obrazovanie v OAE` stremitel`no nabiraet populyarnost`? // <https://almanax.co.uk/tpost/gigbtntl41-pochemu-visshee-obrazovanie-v-oae-stremi> (data obrashheniya 22.07.2024g.)
13. Vuzovskij «likbez» vy`vel Turciyu v chislo mirovy`x liderov po obrazovaniyu // <https://forpost-sz.ru/a/2023-11-02/vuzovskij-likbez-vyvel-turciyu-v-chislo-mirovykh-liderov-po-obrazovaniyu> (data obrashheniya 22.07.2024g.)
14. Sistema vy`sshego obrazovaniya v Kazaxstane // https://enic-kazakhstan.edu.kz/ru/reference_information/sistema-vysshego-obrazovaniya-v-kazahstane (data obrashheniya 23.07.2024g.)
15. Abzhapbarova A., Qalekeeva M.E., Asil`bekova I.Zh. QR auezhajlary` qy`zmetiniq maseleleri men damu tendenciylary` // Vestnik KazATK. – 2023. - №5 (128). - s. 100-109
16. Investicii v aviacionnoe obuchenie: budushhee aviacii: investicii v obuchenie radi texnologicheskogo progressa // <https://fastercapital.com/ru/content/Investicii-v-aviacionnoe-obuchenie--budushhee-aviacii--investicii-v-obuchenie-radi-texnologicheskogo-progressa.html> (data obrashheniya 15.07.2024g.)
17. Qalekeeva M.E., Zhardemky`zy` S., Gozhaxmetova M.A., Turldy`muratova M.N. Problemy` i perspektivy` kadrovogo obespecheniya aviacionnoj otrasli // Vestnik KazATK. – 2023. - №4 (127) - s. 60-67

М.Е. Қалекеева*¹, Г.В. Муратбекова, О.В. Гармаш, З.Е. Қонакбай
Азаматтық авиация академиясы, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

Азаматтық авиация және оның ел экономикасына әсері

Аңдатпа. Азаматтық авиация қазіргі әлемдік экономикада маңызды рөл атқарады, елдер мен қалалар арасындағы байланысты қамтамасыз етеді, туризмді, сауданы және бизнесті ынталандырады. Бұл мақалада Азаматтық авиацияның ел экономикасына әсері, сондай-ақ оның пайдасы қарастырылады. Азаматтық авиация туризмді ыңғайлы әуе рейстерінің арқасында қол жетімді және тартымды ете отырып дамытады. Туристер ағыны қонақүйлерге, мейрамханаларға, көлікке және ойын-сауыққа сұранысты арттырады, бұл туристік индустрияның өсуіне және жаңа жұмыс орындарының ашылуына әкеледі.

Сондай-ақ, азаматтық авиация тауарларды тез және тиімді жеткізуді қамтамасыз ете отырып, халықаралық сауданы дамытады, бұл әлемдік нарықтардың кеңеюіне және халықаралық сауданың ұлғаюына ықпал етеді. Ол бизнесмендерге іссапарларды оңай жүргізуге және халықаралық байланыстар орнатуға мүмкіндік беру арқылы іскерлік қарым-қатынасты сақтайды [1]. Әуе кемелерін өндіру мен күтіп ұстауды, сондай-ақ әуежай инфрақұрылымын қоса алғанда, авиация индустриясын дамыту жұмыс орындарын ашады және инвестицияларды тартады.

АҚШ, Катар және Қытайдан алынған мысалдар Азаматтық авиацияның экономикалық өсу мен дамуға қалай ықпал ететінін көрсетеді. Авиациялық инфрақұрылым мен білімге инвестициялар осы саланы қолдау мен дамытуда маңызды рөл атқарады. Азаматтық авиация туризм, сауда, бизнес және инновация арқылы экономиканы ынталандырады, оны экономикалық дамудың маңызды қозғалтқышы етеді [2].

Түйін сөздер: азаматтық авиация, экономика, халықаралық сауда, инвестициялар, авиациялық инфрақұрылым.

М.Е. Қалекеева*¹, Г.В. Муратбекова, О.В. Гармаш, З.Е. Қонакбай
«Академия гражданской авиации», Алматы, Казахстан

Гражданская авиация и ее влияние на экономику страны

Аннотация. Гражданская авиация играет ключевую роль в современной глобальной экономике, обеспечивая связь между странами и городами, стимулируя туризм, торговлю и бизнес. В этой статье рассматривается влияние гражданской авиации на экономику страны, а также выгоды, которые она приносит. Гражданская авиация вносит свой вклад в развитие туризма, делая его более доступным и привлекательным благодаря удобным рейсам. Приток туристов увеличивает спрос на отели, рестораны, транспорт и развлечения, что приводит к росту индустрии туризма и созданию новых рабочих мест.

Гражданская авиация также способствует международной торговле, обеспечивая быструю и эффективную доставку товаров, что способствует расширению мировых рынков и увеличению

объема международной торговли. Она поддерживает деловые отношения, позволяя бизнесменам легко совершать деловые поездки и устанавливать международные связи [1]. Развитие авиационной промышленности, включая производство и техническое обслуживание самолетов, а также инфраструктуры аэропортов, создает рабочие места и привлекает инвестиции.

Примеры США, Катара и Китая демонстрируют, как гражданская авиация способствует экономическому росту и развитию. Инвестиции в авиационную инфраструктуру и образование играют важную роль в поддержании и развитии этой отрасли. Гражданская авиация стимулирует экономику через туризм, торговлю, бизнес и инновации, что делает ее важным двигателем экономического развития [2].

Ключевые слова: гражданская авиация, экономика, международная торговля, инвестиции, авиационная инфраструктура.

References

1. Vozdushnaya logistika – e`ffektivny`j transport budushhego dlya mgnovenny`x dostavok i uluchsheniya global`noj e`konomiki // <https://logistics.by/blog/vozdushnaya-logistika-effektivnyj-transport-budushhego-dlya-mgnovennyh-dostavok-i-uluchsheniya-globalnoj-ekonomiki> (data obrashheniya 20.07.2024g.)
2. Interesy` passazhirov dolzhny` byt` klyuchevy`m prioritetom // <https://primeminister.kz/ru/news/interesy-passazhirov-dolzhny-byt-klyuchevym-prioritetom-alikhan-smailov-o-razvitiigrazhdanskoy-aviatsii-rk-24281> (data obrashheniya 18.07.2024g.)
3. Vse bol`she kitajskix turistov predpochitayut puteshestvovat` v Kazaxstan // <https://travelpress.kz/news/main/vse-bolshe-kitajskih-turistov-predpochitayut-puteshestvovat-v-kazahstan-1812> (data obrashheniya 20.07.2024g.)
4. K.Koshekov, M. Kalekeyeva, B.Seidakhmetov, G. Kaliyeva, I. Assilbekova, M. Gozhakhmetova.(2024). Monitoring of aviation personnel potential according to the competence approach. Eastern-European Journal of Enterprice Tecnologies, 1(3(127)), 64-77. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298479>
5. Kak kazaxstanskaya aviaciya formiruet budushhee otrasli // <https://top-news.kz/kak-kazahstanskaja-aviacija-formiruet-budushhee-otrasli/> (data obrashheniya 23.07.2024g.)
6. Osnovny`e pokazateli otrasli grazhdanskoj aviacii demonstriruyut stabil`ny`j rost // <https://bizmedia.kz/2023-12-07-osnovnye-pokazateli-otrasli-grazhdanskoj-aviaczii-demonstriruyut-stabilnyj-rost/> (data obrashheniya 22.07.2024g.)
7. Vozdushny`j transport: aviaciya i samolety` SShA // <https://aircraft.jofo.me/1036492.html> (data obrashheniya 15.07.2024g.)
8. O roli gruppy` kompanij Qatar Airways v e`konomicheskom razvitii Katara // <http://www.iimes.ru/?p=62020> (data obrashheniya 23.07.2024g.)
9. Rost passazhirskogo vozdushnogo flota KNR // <https://avia.pro/blog/rost-passazhirskogo-vozdushnogo-flota-knr> (data obrashheniya 15.07.2024g.)
10. Kakaya strana bol`she vsego tratit na obrazovanie? // <https://ru.icotokenfund.com/what-country-spends-most-education> (data obrashheniya 15.07.2024g.)
11. Pochemu sistema obrazovaniya v Singapure yavlyaetsya odnoj iz luchshix v mire? // <https://standard.kz/ru/post/pochemu-sistema-obrazovaniya-v-singapore-yavlyaetsya-odnoi-iz-lucsix-v-mire> (data obrashheniya 23.07.2024g.)

12. Pochemu vy`sshee obrazovanie v OAE` stremitel`no nabiraet populyarnost`? // <https://almanax.co.uk/tpost/gigbtntl41-pochemu-visshee-obrazovanie-v-oae-stremi> (data obrashheniya 22.07.2024g.)

13. Vuzovskij «likbez» vy`vel Turciyu v chislo mirovy`x liderov po obrazovaniyu // <https://forpost-sz.ru/a/2023-11-02/vuzovskij-likbez-vyvel-turciyu-v-chislo-mirovykh-liderov-po-obrazovaniyu> (data obrashheniya 22.07.2024g.)

14. Sistema vy`sshego obrazovaniya v Kazaxstane // https://enic-kazakhstan.edu.kz/ru/reference_information/sistema-vysshego-obrazovaniya-v-kazahstane (data obrashheniya 23.07.2024g.)

15. Abzhapbarova A., Qalekeeva M.E., Asil`bekova I.Zh. QR әuezhaıлары` қу`zmetiniң мәseleleri men damu tendenciyaлары` // Vestnik KazATK. – 2023. - №5 (128). - s. 100-109

16. Investicii v aviacionnoe obuchenie: budushhee aviicii: investicii v obuchenie radi texnologicheskogo progressa // <https://fastercapital.com/ru/content/Investicii-v-aviacionnoe-obuchenie--budushhee-aviicii--investicii-v-obuchenie-radi-texnologicheskogo-progressa.html> (data obrashheniya 15.07.2024g.)

17. Qalekeeva M.E., Zhardemky`zy` S., Gozhaxmetova M.A., Turldy`muratova M.N. Problemy` i perspektivy` kadrovogo obespecheniya aviacionnoj otrasli // Vestnik KazATK. – 2023. - №4 (127) - s. 60-67

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

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

Konakbay Z.E. – c.t.s, associate professor of JSC “Academy of Civil Aviation”, st. Akhmetova 44, 050039, Almaty, Kazakhstan, 8-707-025-64-38, konakbay.zarina@mail.ru

Qalekeeva M.E. – 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

Қонақбай З.Е. – т.ғ.к., асоц. профессор, «Азаматтық авиация академиясы» АҚ, Ахметов көшесі 44, 050039, Алматы қ., Қазақстан Республикасы, 8-707-025-64-38, konakbay.zarina@mail.ru

Калекеева 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

Конакбай З.Е. – к.т.н., ассоц. профессор АО «Академия гражданской авиации», ул. Ахметова 44, 050039, г.Алматы, Республика Казахстан, 8-707-025-64-38, konakbay.zarina@mail.ru



Copyright: © 2024 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 73.37.81

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-149-4-104-118>

Ғылыми мақала

Ұшқышсыз ұшу аппараттары арқылы өрт ошақтарын бақылау және алынған сигналдарды коммуникациялауда ақпараттық қорғау

А.М.Молдамурат¹, Д.М.Калманова², А.Байманова*², Х.Молдамурат²,
Г.А.Бегимова²

¹ТОО «Қазмедиа орталығы» Басқару компаниясы», Астана, Қазақстан

²Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

(E-mail: *dinarsa_kalmanova@mail.ru)

Аңдатпа. Бұл мақалада ұшқышсыз ұшу аппараттарын (ҰҰА) сенсорлық датчиктермен жабдықтау арқылы өрт ошақтарын бақылау және коммуникация жүйесін ақпараттық қорғау туралы жазылған. ҰҰА сенсорлық датчиктермен жабдықталғандықтан, өртті бақылауда датчиктерден алынған сигналдарды орталыққа жіберу және оның коммуникация жүйесінің ақпараттық қорғалуы қарастырылады. Дала өрттері мен басқа да өрт түрлерін экологиялық апаттарға байланысты қауіптердің артуымен тиімді бақылау және басқару әдістері көрсетілген. Бұл, ҰҰА-ны өрт ошақтарын бақылауда таптырмас құралға айналдырады. Дегенмен, бұл технологияларды пайдалану деректердің жоғалу тәуекелімен және байланыстың бұзылуымен бірге келеді. Мақалада шифрлау, аутентификация және кибершабуылдан қорғауды қоса алғанда, ақпаратты беру қауіпсіздігі мен сенсорлық деректерді басқару жүйесімен біріктірудің заманауи тәсілдері талданады. Байланыс жүйесін кешенді қорғауды құру бойынша ұсыныстар беріледі, бұл дағдарыс жағдайында басқарудың сенімділігі мен тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. ҰҰА жүйесінің жұмыс істеуінің негізгі принциптері, соның ішінде шешім қабылдау алгоритмдері және бір желідегі бірнеше ұшқышсыз ұшу аппараттарының әрекеттерін үйлестіру сипатталған. Маршруттарды оңтайландыру, тапсырмаларды орындау тиімділігін арттыру әдістері қарастырылған. Сонымен қатар, ұшқышсыз ұшу аппараттарын сенсорлық датчиктермен жабдықтау арқылы орман өрттерін бақылау тиімділігі айтылады. ҰҰА интегралды бағдарламалық кешенінің интеллектуалды басқару жүйесі берілген. ҰҰА аудиосигнал арқылы басқаруда ChaCha20 деректерді беру қауіпсіздігін қамтамасыз етудің сенімді механизмінің алгоритм шифрлеу әдістері ұсынылған.

Түйін сөздер: ұшқышсыз ұшу аппараттары (ҰҰА), сенсорлық датчиктер, өртті бақылау, ақпараттық қауіпсіздік, коммуникация жүйесі, шифрлау алгоритмдері, киберқауіпсіздік.

Түсті 28.09.2024. Жөнделді 18.10.2024. Мақұлданды 13.11.2024. Онлайн қолжетімді 31.12.2024

¹*Хат хабар үшін авторы

Кіріспе

Бұл жұмыста топтық басқарумен ұшқышсыз ұшу аппараттарын сенсорлық датчиктермен жабдықтау арқылы орман өрттерін бақылау және ұшқышсыз ұшу аппараттарының (ҰҰА) интеграцияланған бағдарламалық кешенін интеллектуалды басқару қарастырылады.

Орман өрттері экожүйелерге, экономикаға және адамдардың қауіпсіздігіне үлкен қауіп төндіреді. Өртті бақылау мен басқарудың дәстүрлі әдістері көбінесе тиімсіз. Осыған байланысты сенсорлық датчиктері бар ұшқышсыз ұшу аппараттарын пайдалану бұл мәселені шешудің өзекті әдісіне айналуға [1].

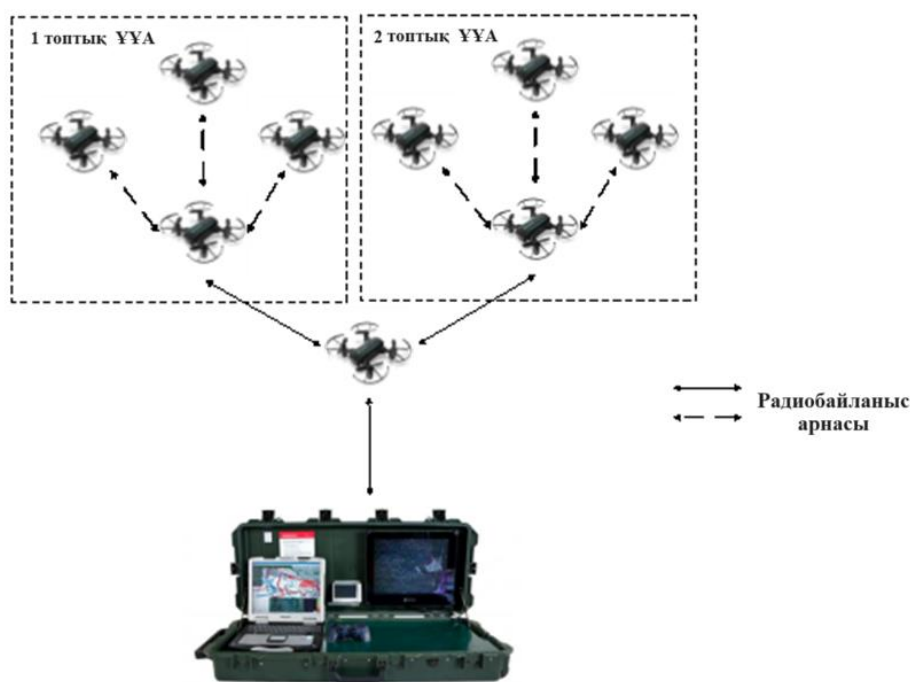
Мониторингте ҰҰА қолдану әртүрлі сенсорлық датчиктермен (жылу камералары, оптикалық датчиктер, ауа сапасының датчиктері) жабдықталған аппараттардың өрттің алғашқы белгілерін тез және тиімді анықтауына мүмкіндік береді. Олар жедел әрекет етуді қамтамасыз етіп, өрт ошақтарын анықтау уақытын азайта отырып, кең аумақтарды патрульдей алады.

Технологияның артықшылықтарына келетін болсақ, тиімділік, қауіпсіздік және дәлдік маңызды рөл атқарады:

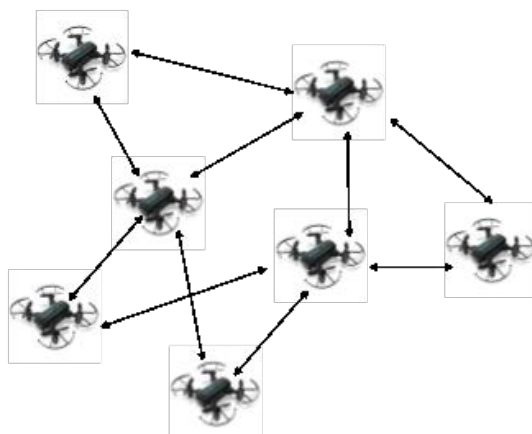
о Тиімділік: ұшқышсыз ұшу аппараттары қысқа уақыт ішінде үлкен аумақтарды қамтып, өрттің ауқымын жылдам анықтауға және бағалауға мүмкіндік береді.

о Қауіпсіздік: ұшқышсыз ұшу аппараттарын пайдалану адамдар үшін қауіпті азайтады, себебі олар қауіпті жерлерде бақылау жүргізе алады.

о Дәлдік: ауадан алынған сенсорлық деректер температураны және өрттің таралуын жоғары дәлдікпен және егжей-тегжейлі анықтауға мүмкіндік береді [2].



1-сурет. ҰҰА басқару және жербеті станциямен байланыс



2-сурет. Орталықтандырылмаған (шеткі) басқарудағы ҰҰА өзара әрекеттесу схемасы

ҰҰА күрделі тапсырмаларды аз уақыт пен ресурстарды жұмсай отырып орындау қабілетінің арқасында көптеген салалардың ажырамас бөлігіне айналуға мүмкіндік береді. ҰҰА-ны әртүрлі сенсорлармен жабдықтау қоршаған ортаны бақылау, ауыл шаруашылығы, қауіпсіздік және басқа да көптеген салаларда жаңа көкжиектерді ашады.

Әдіснама

ҰҰА сенсорлық датчиктерін пайдалану [3, 14]

1. Қоршаған ортаны бақылау құрылғысы бейне бақылау датчигі – сенсорлық датчиктермен жабдықталған ҰҰА ауаның ластану деңгейі немесе су сапасы сияқты экожүйелердегі өзгерістерді қашықтан бақылай алады.

2. Ауыл шаруашылығында қолданылатын сенсорлық датчиктер – датчиктер дақылдардың ылғалдылық жағдайын бағалауға, алқаптың температурасын диагностикалауға мүмкіндік береді, бұл ауыл шаруашылығында өнімділіктің қауіпсіздігін уақытылы бағалауға және өнімнің жоғарылауына ықпал етеді.

3. Қауіпсіздік жүйелерінде қолданылатын сенсорлық датчиктер – камера, тепловизор, газ анализаторы, ауа ылғалдылығы және температура датчиктері бар ҰҰА орман өрттерін бақылау және алдын алу, іздеу-құтқару операциялары және шекараны қорғау үшін қолданылады.

4. Геодезия және картография – сенсорлар қала құрылысы мен жер ресурстарын басқаруға қатысты жоғары дәлдіктегі карталар мен рельефтің үш өлшемді модельдерін жасауға көмектеседі.

1-кесте. Орман өртін анықтауға арналған NB-IoT терминалында қолданылатын сенсорлық датчиктердің түрлері



Температура мен ылғалдылық сезетін әмбебап датчигі

Тепловизор жоғарғы температура-ның жылуын сезіну датчигі

Газанализатор датчигі

Түтінді сезінетін датчигі

Қашықтықтан сезетін көлденең сәулелік Фотоэлектрлі сенсорлы датчигі

ҰҰА сенсорлық датчиктерінің артықшылықтарына қол жетімділік, уақыт пен ресурстарды үнемдеу, деректердің дәлдігі мен егжей-тегжейі, сондай-ақ қауіпсіздік жатады. ҰҰА дәстүрлі бақылау әдістері тиімсіз болатын жету қиын және қауіпті жерлерге жете алады. Деректерді жедел алу шешім қабылдау процестерін едәуір жылдамдатады. Сенсорлық датчиктер терең талдауға мүмкіндік беретін жоғары деңгейдегі егжей-тегжейлі ақпаратты қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, ұшқышсыз ұшу аппараттарын пайдалану, әсіресе қауіпті аймақтарда, адамдар үшін қауіп-қатерді азайтады [4, 11].



3-сурет. ҰҰА басқару жүйесінің негізгі жұмыс жасау принципі

Бұл жұмыста ұшқышсыз ұшу аппаратының (ҰҰА) интегралды бағдарламалық кешенінің интеллектуалды басқару жүйесін қорғау және модельдеу қарастырылады. Технологиялардың дамуымен, әсіресе әскери және азаматтық салаларда ҰҰА-ның қолданылуымен, деректерді басқару мен қорғаудың сенімді жүйесін құру маңызды.

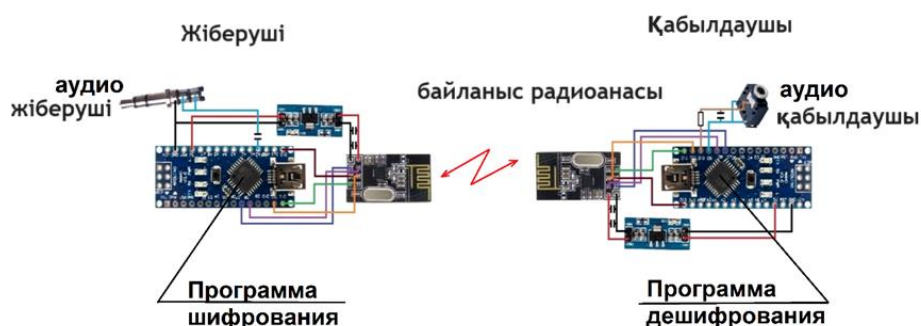
Жұмыс бірнеше ҰҰА-ны үйлестіру мен өзара әрекеттесуін қамтамасыз ететін интеллектуалды басқару архитектурасын әзірлеуге бағытталған. Бағдарларды оңтайландыру және тапсырмалардың тиімділігін арттыру үшін жасанды интеллект алгоритмдерін қолдану басты назарда. Деректерді қорғау үшін шифрлау мен аутентификацияны қамтитын кешенді әдістер пайдаланылады, бұл ақпараттың қауіпсіздігін қамтамасыз етеді.

Жүйені модельдеу ҰҰА-ның өзара әрекеттесуі сценарийлерін зерттеуге мүмкіндік береді, осылайша осалдықтар мен қауіптер анықталады. Ұсынылған модельдің жоғары тиімділігі мен автоматтандыру жүйелерін басқарудағы функционалдылықты кеңейту әлеуеті көрсетіледі.

ҰҰА интегралды бағдарламалық кешенінің қорғау стандарттары арнайы енгізіледі, бұл ҰҰА-ның жер беті басқару орталығымен байланысындағы қауіпсіздікті қамтамасыз етеді. Басқарудың барлық түрлері, соның ішінде интеллектуалды басқару микроконтроллер арқылы жүзеге асырылады, ол ҰҰА-ның кешендік басқару орталығы болып табылады [5].

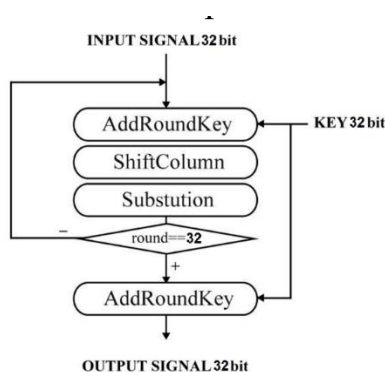
ҰҰА арнайы дыбыстық басқаруда арнайы ArduinoEncryptor бағдарламасында әзірленген пакеті (.cpp) – бұл ГОСТ 28147-89 алгоритмінің модификациясы негізінде жасалған ақпараттық қорғау үшін шифрлау пакеті (аутентификациямен). Модификация Arduino микроконтроллерінің шектеулі есептеу ресурстарын ескере отырып, төмен бит, төмен өнімділік, регистр жадын пайдалану және т.б. пакеттің құрамына модульдің интерфейсіне кіретін мүмкіндіктер кіреді:

- шифрды іске асыру (криптопримитив);
- есептегіш режимінде шифрлауды жүзеге асыру (гаммалау);
- СМАС (NIST SP 800-38B) алгоритмінің деректерін аутентификациялау схемасын енгізу.



4-сурет. Аудиодеректерді криптографиялық қорғауды жүзеге асырудың мысалы:
Arduino микроконтроллер платформасына негізделген

Ал енді радиобайланыс арқылы байланысқа түсудегі ақпараттық қорғау арнайы радиостанцияларға арналған IP екі саннан тұрады (мысалы, IP54). Бірінші сан қатты денелерден, екіншісі сұйықтықтан қорғауды білдіреді. Шаң мен ұсақ бөлшектерден қорғаудың 6 дәрежесі және ылғалдан қорғаудың 8 дәрежесі бар. ГОСТ Р 50829-95 радиостанциялардың, радиоэлектрондық аппаратураның трансивер аппаратурасы және олардың құрамдас бөліктерін пайдалана отырып, қауіпсіздігі осы халықаралық стандартпен бекітілген [6, 10].



5-сурет. Деректерді шифрлау алгоритмінің схемасы

Аутентификация үшін CMAC (NIST SP 800-38B) алгоритмі қолданылады. Хабарламаның құрамына аутентификация кодын (имитациялық кірістіру) есептеу үшін NONCE мәні қосылады. Дәл сол NONCE мәні негізгі ағынды құру үшін қолданылуы керек. Берілген шифрлау кілтімен NONCE тек бір рет пайдаланылуы мүмкін. Қауіпсіз деректерді бөлісетін түйіндер синхронды NONCE мәнін пайдаланады деп болжануда. Бұл мән хабарламамен бірге ашық түрде берілуі мүмкін.

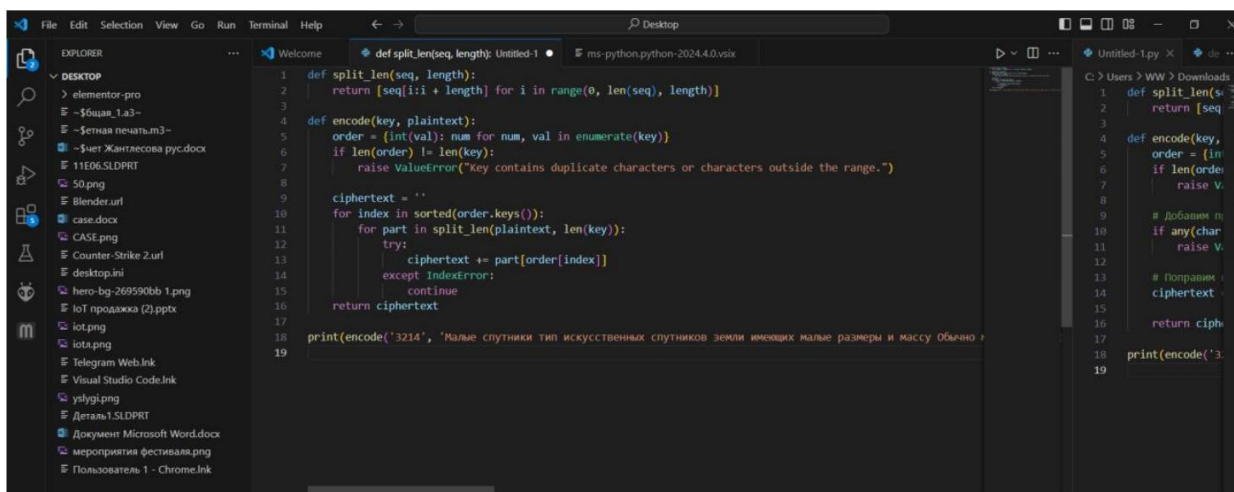
Жалпы қолданыстағы шифрлеу алгоритмдері:

- Симметриялық: AES, ГОСТ Р 34.11-94, DES, Twofish, IDEA және т.б.
- Жеңіл шифрлау: ChaCha20, Salsa20 және т.б.
- Асимметриялық: RSA, ElGamal және т.б.
- Хэш-функциялар: MD4, MD5 және т.б.
- Транспозициялық шифрлеу алгоритмдері және т.б.

Транспозициялық шифр әдісі – шифрланған мәтінді қалыптастыру үшін ашық мәтіндегі алфавиттердің реті қайта реттелетін криптографиялық алгоритм. Бұл процеске қарапайым мәтіннің нақты алфавиттері енгізілмейді [7].

Нәтижелер мен талқылау

Бағдарламалық Visual Studio ортасында Python 3.12.3 бағдарламалық тілінде кодтың негізгі ҰҰА басқарудағы локациялық жүйесінің нұсқасы жасалады және ақпарат ағымының алгоритмі жасалады. ҰҰА басқару жүйесінде инициализация орындалады, координаттар жаңартылады және көрсетіледі, содан кейін жүйе өшіріледі. Деректерді қорғау жүйесін (ДПЖ) біріктіруге арналған код берілген. Бұл үшін ҰҰА тобын әзірлейміз, өзара ақпарат алмасуда деректерді шифрлау және шифрын ашу әдістерін қамтитын жүйелер құрамыз және сондай-ақ, жүйенің күйін тексеру үшін тестілеу жүйесін іске асырамыз. Барлық жүйелерді біріктіру үшін (интеллектуалды басқару, орналасу және қорғау) бірыңғай бағдарламалық жасақтама кешенінде біз топтасқан ҰҰА сыныбын құрамыз. Осы жүйелердің әрқайсысымен өзара әрекеттесу процесін іске асырамыз. Бұл бізге ҰҰА-ны орталықтан басқаруға мүмкіндік береді және интеграциясын орындауға болады [8, 9].



6-сурет. Python бағдарламалық тілде кодтарды жазу тақтасы

ҰҰА топтық сыныбын қолданудағы мысалы: Кодтың негізгі бөлігінде бірыңғай бағдарламалық кешеннің данасы жасалады, инициализация жүзеге асырылады, кешеннің жұмысы басталады және соңында барлық жүйелер сөндіріледі.

Листинг: бағдарлама үзіндісі.

Интеллектуалды басқару бағдарламалық модуль жүйелерін интеграциялау (Siu):

```

class IntelligentControlSystem:
def _init_(self, name):
# Жүйені берілген атпен инициализациялау
self.name = name
self.Модульдер = [] # Топтық ҰҰА жүйе модульдерін сақтауға арналған тізім
self.active_modules = [] # белсенді модульдерді сақтауға арналған тізім
def add_module(self, module):
# Жүйеге модуль қосу әдісі
self.modules.append(module)
Print (F " Модуль {module.name} Топтық ҰҰА жүйеге қосылды {self.name}.")
def remove_module(self, module):
# Модульді жүйеден жою әдісі
if module in self.modules:
self.modules.remove(module)
Print (F " Модуль {module.name} Топтық ҰҰА жүйеден жойылды {self.name}.")
else:
Print (F " Модуль {module.name} Топтық ҰҰА жүйеде табылған жоқ. ")
def integrate(self):
# Барлық модульдерді жүйеге біріктіру әдісі
for module in self.modules:
try:
print (F " модульді біріктіру {module.name}...")

```

```
module.initialize () # Топтық ҰҰА басқару модульді инициализациялау
self.active_modules.append (module) # тізімге белсенді модуль қосу
except Exception as e:
```

```
# Егер Топтық ҰҰА басқару модульді инициализациялау сәтсіз болса, қателерді өңдеу
print (F " Топтық ҰҰА басқару модульді біріктіру кезіндегі қате {module.name}: {e}")
```

ҰҰА басқару жүйелерінде дыбыстық сигналдарды қорғау үшін ChaCha20 шифрлау алгоритмі қолданылады. Аудио сигналдар оператор мен ҰҰА арасындағы маңызды өзара әрекеттестікті қамтамасыз етеді, бірақ ашық түрде беру рұқсатсыз қол жеткізу қаупін тудырады. ChaCha20 алгоритмі жоғары жылдамдығы және шабуылдарға төзімділігімен таңдалды [9].

Әзірлеу аясында синусоидалы аудио сигналдарды генерациялау, оларды ChaCha20 арқылы шифрлау және шифрын ашу әдістері зерттелді. Алгоритмнің практикалық қолдануы деректерді қорғауда сенімді шифрлау мүмкіндігін көрсетті. Эксперимент нәтижелері ChaCha20 тиімділігін растады: шифрланған аудио сигналдар сапасын жоғалтпай сәтті жіберілді және декодталды, бұл алгоритмнің практикалық қолданылуын дәлелдейді [12].

ҰҰА аудиосигнал арқылы басқаруда ChaCha20 деректерді беру қауіпсіздігін қамтамасыз етудің сенімді механизмінің алгоритм шифрлеуі төменде көрсетілген.

```
from Crypto.Cipher import ChaCha20
from Crypto.Random import get_random_bytes
аудио файлдармен жұмыс істеу үшін soundfile as SF # импорттаңыз
import os
# Дыбыстық сигнал параметрлері
fs = 44100 # іріктеу жылдамдығы
ұзақтығы = 5 # ұзақтығы секундпен
frequency = 440 # сигнал жиілігі (Ла) Гц
# Синусоидалы сигнал генерациясы
t = np.linspace(0, duration, fs * duration, endpoint=False)
audio_signal = 0.5 * np.sin(2 * np.pi * frequency * t)
# 16 биттік бүтін санға түрлендіру (signed) және дискіге сақтау
audio_signal_int16 = np.int16(audio_signal * 32767)
sf.write('original_audio.wav', audio_signal_int16, fs)
# Шифрлауға дайындық
key = get_random_bytes (32) # 256 биттік кілт
nonce = get_random_bytes (8) # 64 биттік IV
# Аудио сигналды шифрлау
cipher = ChaCha20.new(key=key, nonce=nonce)
ciphertext = cipher.encrypt(audio_signal_int16.tobytes())
# Шифрланған аудио сигналды дискіге сақтау
with open('encrypted_audio.bin', 'wb') as f:
f.write(nonce + ciphertext)
```

Код 440 Гц жиіліктегі 5 секундтық синусоидалы дыбыстық сигналды жасайды, бұл

сигнал WAV форматында сақталады. Синусоидалы сигнал – дыбыстық толқынның негізгі түрі, оны генерациялау үшін numpy кітапханасы пайдаланылады. Шифрлау процесінде ChaCha20 алгоритмі шифрлау нысаны ретінде қолданылады. Алгоритмге бірегей кілт және бастапқы вектор (IV) беріледі. Аудио сигнал байттарға түрлендіріледі және шифрланады. Шифрланған аудио сигналды сақтау кезінде IV, тег және шифрланған деректер файлға жазылады, бұл деректерді кейін декодтау үшін қажет. Декодтау барысында шифрланған деректер файлдан оқылып, бұрын берілген кілт пен IV арқылы декодталады. Декодталған аудио сигнал жаңа WAV файлына сақталады. WAV форматы аудио файлдарды сақтау үшін кеңінен қолданылып, көптеген медиа ойнатқыштармен ойнатуға мүмкіндік береді [13].

Ескертулер ретінде, бұл код ChaCha20 алгоритмімен аудио сигналды шифрлау мен шифрды шешудің негізгі принциптерін көрсетеді. Нақты жағдайларда қателерді өңдеу, кілттерді басқару және деректердің тұтастығын қамтамасыз ету сияқты қосымша факторларды ескеру қажет. Аудио файлдарды ойнату үшін WAV пішімін қолдайтын кез келген медиа ойнатқышты пайдалануға болады.

Бұл зерттеу ҰҰА басқару жүйелеріндегі аудио сигналдарды шифрлаудың маңыздылығын көрсетеді. ChaCha20 алгоритмі деректерді беру қауіпсіздігін қамтамасыз етудің сенімді механизмі ретінде тиімділігін дәлелдейді. Жұмыс нәтижелері пилотсыз технологиялар контекстінде ақпараттық қауіпсіздікті одан әрі зерттеуге негіз бола алады. ҰҰА басқаруды қорғау үшін ChaCha20 шифрлау алгоритмін пайдалану берілетін аудио сигналды қауіпсіздікпен қамтамасыз етеді. Демонстрация ретінде біз аудио сигналды генерациялау, тасымалдау үшін шифрлау және шифрын ашу процесін көрсете отырып, мысал жасап ұсынамыз [15].

Қорытынды

Ұшқышсыз ұшу аппараттарын сенсорлық датчиктермен жабдықтау орман өрттерін бақылаудың тиімді тәсілі болып табылады. Бұл технология жедел жауап беру мен басқарудың жоғары тиімділігін қамтамасыз етеді. Болашақта ҰҰА деректерін болжау және ескерту жүйелерімен біріктіру орман ресурстарын қорғауды айтарлықтай жақсартады, өрт белсенділігін төмендетеді. Жүйенің негізгі принциптері, шешім қабылдау алгоритмдері және бір желідегі бірнеше ҰҰА әрекеттерін үйлестіру сипатталған. Маршруттарды оңтайландыру мен тапсырмаларды орындау тиімділігін арттыру үшін жасанды интеллект әдістерінің маңызы атап өтіледі. Зерттеу нәтижелері топтық басқаруды сәтті жүзеге асыру мүмкіндігін көрсетіп, ҰҰА-ны бақылау, барлау және логистикада қолданудың жаңа перспективаларын ашады.

Сенсорлық датчиктерді пайдалану арқылы өрт ошақтарын бақылау, алынған деректерді қауіпсіз орталыққа жеткізу қарастырылған. Аудио сигналдарды қорғау үшін ChaCha20 шифрлау алгоритмі сәтті қолданылды. Эксперимент нәтижелері алгоритмнің жоғары жылдамдығы мен беріктігін растады, шифрланған аудио сигналдар сапасын жоғалтпай қауіпсіз түрде жіберілді. Бұл деректерді беру қауіпсіздігін қамтамасыз етудегі шифрлаудың маңыздылығын көрсетеді. Нәтижелер ҰҰА контекстіндегі ақпараттық

қауіпсіздік зерттеулеріне жаңа мүмкіндіктер ашады, ресурстарды тиімді басқару, операцияларды қауіпсіз жүргізу және қоршаған ортаны қорғауға инновациялық шешімдер ұсынады.

Мақалада ҰҰА интегралды бағдарламалық кешенінің басқару алгоритмі ұсынылған. Ақпараттық қорғау микроконтроллерлік жүйеде іске асырылып, алгоритм көрсетілген. Visual Studio ортасында Python бағдарламалық тілінде код жазылып, шифрлау мен дешифрлеу жүзеге асырылды. ҰҰА кешендік жүйесінің интеллектуалды басқару моделі құрылды. Деректерді қорғау жүйесін (SZD) халықаралық стандарт хаттамалары негізінде бағдарламалық кодпен бірге мысалдар келтірілген. Жұмыс нәтижелері ақпараттық деректерді қорғаудың жоғары тиімді механизмдерін күрделі операциялық жағдайларда қолдануға мүмкіндік береді, бұл ҰҰА қауіпсіздігі мен функционалдығын арттыруға ықпал етеді. Осы әдістерді дамыту мобильді объектілердегі интеллектуалды басқару мен ақпараттық қорғау технологияларын әртүрлі салаларда қолдану үшін жаңа мүмкіндіктер ашады.

Алғыс айту, мүдделер қақтығысы

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және Жоғары білім министрлігінің Ғылым Комитеті тарапынан қаржыландырылды (Жоба ИРН № AP23486167). Авторлар осы мақалаға қатысты ешқандай мүдделер қақтығысы жоқ екенін мәлімдейді және зерттеу барысында көрсетілген қолдау мен ынтымақтастық үшін барлық әріптестер мен мекемелерге ризашылығын білдіреді.

Авторлардың қосқан үлесі:

А.М. Молдамурат, Д.М. Калманова, Х. Молдамурат – тұжырымдама, әдістеме, ресурстар, мәліметтер жинау.

А. Байманова, Г.А. Бегимова – талдау, визуализация, интерпретация, жазу, өңдеу.

Әдебиеттер тізімі

1. Stallings W. Cryptography and Network Security: Principles and Practice / W. Stallings. — Pearson, 2017.
2. Diffie W., Martin E. New Directions in Cryptography // IEEE Transactions on Information Theory. – 1976. – Т. 22, № 6. – С. 644-654.
3. Атанов С.К., Сейткулов Е.Н., Молдамурат Х., Ергалиева Б.Б., Балбаев Г.К., Оспанов Р.М. Ұялы байланыс және сымсыз жүйелер дабылдарын интеллектуальды түрде басуға арналған құрылғы, Патент № 8530, 2023/0753.2, 06.07.2023. – РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности», Республика Казахстан.
4. Khamis M.A., Kamel W.A. Drone Security: Issues and Challenges // International Journal of Computer Applications. – 2018. – Т. 182, № 30. – С. 1-7.
5. Молдамурат Х., Мақыш С.Б., Атанов С.К., Бақыт М.А. Устройство криптографически защищённого управления мобильным роботом, Патент № 9067, 2024/0437.2, 26.04.2024. – РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности».

6. Cheng G., Kwan C. Security Problems in UAV Applications // IEEE Communications Magazine. – 2015. – Т. 53, № 4. – С. 54-59.
7. Moldamurat K., Seitkulov Y., Atanov S., Bakyt M., Yergaliyeva B. Enhancing Cryptographic Protection, Authentication, and Authorization in Cellular Networks: A Comprehensive Research Study // International Journal of Electrical and Computer Engineering. – 2024. – Т. 14, № 1. – С. 479-487.
8. Әлмағанбет Т.Ш., Асқарбек М.А., Атанова А.А. Ғарыш саласында криптоқорғау жүйесін пайдаланудың маңыздылығы мен ерекшеліктері // XIX Международная научная конференция студентов и молодых ученых «Ғылым және білім – 2024». – ISBN 978-601-7697-07-5. – С. 203-211.
9. Zhang X., Wang Y. Multisensor Data Fusion for Fire Detection in Urban Fire Control using UAVs // Sensors. – 2019. – Т. 19, № 4. – С. 936.
10. Pimentel A.R., et al. Aerial Detection of Fires Using Drones and Infrared Cameras: A Case Study // Journal of Fire Sciences. – 2016. – Т. 34, № 2. – С. 145-161.
11. Anderson K., Gaston G. Lightweight Drones: Development of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Environmental Monitoring // Remote Sensing. – 2013. – Т. 5, № 7. – С. 3279-3297.
12. Lague D., Bouchard M. UAVs for Monitoring and Assessing the Impact of Forest Fires // Remote Sensing. – 2017. – Т. 9, № 1. – С. 50.
13. Bakyt M., Moldamurat K., Konyrkhanova A., Maidanov A., Satybalдина D. Integration of Cryptography and Navigation Systems in Unmanned Military Mobile Robots: A Review of Current Trends and Perspectives // CEUR Workshop Proceedings. – 2024. – Т. 3680.
14. Sigh V., Raghunathan M. Security and Privacy Issues in Drone Technology: A Survey // IEEE Access. – 2020. – Т. 8. – С. 23249-23272.
15. Zhang Q., et al. Survey on Firewall Technologies in UAV Networks // Future Generation Computer Systems. – 2020. – Т. 105. – С. 375-385.

А.М.Молдамурат¹, Д.М.Калманова², А.Байманова*², Х.Молдамурат², Г.А.Бегимова²

¹ТОО «Управляющая компания «Қазмедиа орталығы», Астана, Қазақстан

²Бразильский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Қазақстан

Контроль очагов пожара и информационная защита при коммуникации полученных сигналов с помощью беспилотных летательных аппаратов

Аннотация. В этой статье рассказывается об информационной защите системы мониторинга и коммуникации очагов пожара путем оснащения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) сенсорными датчиками. Поскольку БПЛА оснащена сенсорными датчиками, при контроле пожара предусматривается передача сигналов от датчиков в центр и информационная защита его коммуникационной системы. Показаны эффективные методы контроля и управления лесными пожарами и другими видами пожаров с увеличением рисков, связанных с экологическими бедствиями. Это делает БПЛА незаменимым инструментом в контроле очагов пожаров. Однако использование этих технологий сопряжено с риском потери данных и нарушения связи. В статье анализируются современные подходы к интеграции безопасности передачи информации и сенсорной системы управления данными, включая шифрование, аутентификацию и защиту от

кибератак. Даны рекомендации по созданию комплексной защиты системы связи, что позволит повысить надежность и эффективность управления в условиях кризиса. Описаны основные принципы функционирования системы БПЛА, включая алгоритмы принятия решений и координацию действий нескольких беспилотных летательных аппаратов в одной сети. Рассмотрены методы оптимизации маршрутов, повышения эффективности выполнения задач. Кроме того, подчеркивается эффективность мониторинга лесных пожаров путем оснащения беспилотных летательных аппаратов сенсорными датчиками. Дана интеллектуальная система управления интегрированным программным комплексом БПЛА. Предложены методы алгоритмического шифрования надежного механизма обеспечения безопасности передачи данных ChaCha20 в управлении с помощью аудиосигнала БПЛА.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты (БПЛА), сенсорные датчики, управление огнем, информационная безопасность, коммуникационная система, алгоритмы шифрования, кибербезопасность.

A.M.Moldamurat¹, D.M.Kalmanova², A.Baimanova*², Kh.Moldamurat², G.A.Begimova²

¹*LLP «Managing Company»Kazmedia ortalgy», Astana, Kazakhstan*

²*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

Fire control and information protection in the communication of received signals using unmanned aerial vehicles

Abstract. This article describes the information protection of the fire monitoring and communication system by equipping unmanned aerial vehicles (UAVs) with touch sensors. Since the UAV is equipped with touch sensors, fire control provides for the transmission of signals from sensors to the center and information protection of its communication system. Effective methods of control and management of forest fires and other types of fires with an increase in risks associated with environmental disasters are shown. This makes the UAV an indispensable tool in controlling fires. However, the use of these technologies carries the risk of data loss and communication disruption. The article analyzes modern approaches to the integration of information transmission security and a sensor data management system, including encryption, authentication and protection against cyber attacks. Recommendations are given on the creation of a comprehensive protection of the communication system, which will improve the reliability and efficiency of management in a crisis. The basic principles of the UAV system functioning are described, including decision-making algorithms and coordination of actions of several unmanned aerial vehicles in one network. The methods of route optimization and improving the efficiency of tasks are considered. In addition, the effectiveness of monitoring forest fires by equipping unmanned aerial vehicles with sensor sensors is emphasized. An intelligent control system for an integrated UAV software package is given. The methods of algorithmic encryption of a reliable mechanism for ensuring the security of ChaCha20 data transmission in control using the UAV audio signal are proposed.

Keywords: unmanned aerial vehicles (UAVs), sensor sensors, fire control, information security, communication system, encryption algorithms, cybersecurity.

References

1. Stallings W. Cryptography and Network Security: Principles and Practice / W. Stallings. – Pearson, 2017.
2. Diffie W., Martin E. New Directions in Cryptography // IEEE Transactions on Information Theory. – 1976. – T. 22, № 6. – S. 644-654.
3. Atanov S.K., Seitkulov E.N., Moldamurat Kh., Yergaliyeva B.B., Balbayev G.K., Ospanov R.M. Uyali baylanis zhane symsyz zhuyeler dabyldaryn intellektual'dy türde basuga arналған kurylgy, Patent № 8530, 2023/0753.2, 06.07.2023. – RGP «Natsional'nyy institut intellektual'noy sobstvennosti», Respublika Kazakhstan.
4. Khamis M.A., Kamel W.A. Drone Security: Issues and Challenges // International Journal of Computer Applications. – 2018. – T. 182, № 30. – S. 1-7.
5. Moldamurat Kh., Makish S.B., Atanov S.K., Bakyt M.A. Ustroystvo kriptograficheski zashchishchennogo upravleniya mobil'nym robotom, Patent № 9067, 2024/0437.2, 26.04.2024. – RGP «Natsional'nyy institut intellektual'noy sobstvennosti».
6. Cheng G., Kwan C. Security Problems in UAV Applications // IEEE Communications Magazine. – 2015. – T. 53, № 4. – S. 54-59.
7. Moldamurat K., Seitkulov Y., Atanov S., Bakyt M., Yergaliyeva B. Enhancing Cryptographic Protection, Authentication, and Authorization in Cellular Networks: A Comprehensive Research Study // International Journal of Electrical and Computer Engineering. – 2024. – T. 14, № 1. – S. 479-487.
8. Almagambet T.Sh., Askarbek M.A., Atanova A.A. Garysh salasinda kriptokorgau zhüyesin paidalanudyn manyzdilygy men erekshelikteri // XIX Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya studentov i molodykh uchenykh «Gylym zhaNe bilim – 2024». – ISBN 978-601-7697-07-5. – S. 203-211.
9. Zhang X., Wang Y. Multisensor Data Fusion for Fire Detection in Urban Fire Control using UAVs // Sensors. – 2019. – T. 19, № 4. – S. 936.
10. Pimentel A.R., et al. Aerial Detection of Fires Using Drones and Infrared Cameras: A Case Study // Journal of Fire Sciences. – 2016. – T. 34, № 2. – S. 145-161.
11. Anderson K., Gaston G. Lightweight Drones: Development of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Environmental Monitoring // Remote Sensing. – 2013. – T. 5, № 7. – S. 3279-3297.
12. Lague D., Bouchard M. UAVs for Monitoring and Assessing the Impact of Forest Fires // Remote Sensing. – 2017. – T. 9, № 1. – S. 50.
13. Bakyt M., Moldamurat K., Konyrkhanova A., Maidanov A., Satybaldina D. Integration of Cryptography and Navigation Systems in Unmanned Military Mobile Robots: A Review of Current Trends and Perspectives // CEUR Workshop Proceedings. – 2024. – T. 3680.
14. Sigh V., Raghunathan M. Security and Privacy Issues in Drone Technology: A Survey // IEEE Access. – 2020. – T. 8. – S. 23249-23272.
15. Zhang Q., et al. Survey on Firewall Technologies in UAV Networks // Future Generation Computer Systems. – 2020. – T. 105. – S. 375-385.

Авторлар туралы мәлімет:

А.М.Молдамурат – «Ғарыштық техника және технологиялар» мамандығы бойынша техникалық ғылымдар магистрі, «Қазмедиа орталығы» басқарушы компаниясының радиохабар тарату кешенінің инженер-программисті, Дінмұхамед Қонаев көшесі, 4, 010000, Астана, Қазақстан.

Д.М.Калманова – педагогика ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Ғарыштық техника және технологиялар» кафедрасының доцент м.а., Сәтбаев көшесі, 2, 010000, Астана, Қазақстан.

Х.Молдамурат – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Ғарыштық техника және технологиялар» кафедрасының ассистент профессоры, Сәтбаев көшесі, 2, 010000, Астана, Қазақстан.

А.Байманова – хат-хабар үшін автор, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Ғарыштық техника және технологиялар» мамандығы бойынша техника ғылымдарының магистрі, Астана қаласы Сарыарқа ауданы әкімі аппаратының автоматтандыру инженері, Сарыарқа даңғылы 13, 010000, Астана, Қазақстан.

Г.А.Бегимова – түркология кафедрасының доценті, филология ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтбаева көшесі, 2, 010000, Астана, Қазақстан.

А.М.Молдамурат – магистр технических наук по специальности «Космическая техника и технологии», инженер-программист радиовещательного комплекса управляющей компании ТОО «КазМедиа орталығы», ул. Динмухамед Кунаев, 4, 010000, Астана, Казахстан.

Д.М.Калманова – автор корреспонденции, кандидат педагогических наук, и.о. доцент кафедры «Космическая техника и технологии», Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, 010000, Астана, Казахстан.

Х.Молдамурат – кандидат технических наук, ассистент профессор кафедры «Космическая техника и технологии» Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, 010000, Астана, Казахстан.

А.Байманова – автор корреспонденции, магистр технических наук по специальности «Космическая техника и технологии» Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, инженер по автоматизации аппарата акима района Сарыарка города Астана, проспект Сарыарка 13, 010000, Астана, Казахстан.

Г.А.Бегимова – доцент кафедры тюркологии, кандидат филологических наук Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, 010000, Астана, Казахстан.

А.М. Moldamurat – Master of Technical Sciences in «Space Engineering and Technology» a software engineer for the broadcasting complex of the management company «KazMedia Center» located at 4 Dinmukhammed Kunayev Street, 010000, Astana, Kazakhstan.

D.M. Kalmanova – Candidate of Pedagogical Sciences and Acting Associate Professor of the Department of «Space Engineering and Technology» at the Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, located at 2 Satpayev Street, 010000, Astana, Kazakhstan.

Kh. Moldamurat – Candidate of Technical Sciences and an Assistant Professor of the Department of «Space Engineering and Technology» at the Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, located at 2 Satpayev Street, 010000, Astana, Kazakhstan.

A. Baimanova – Master of Technical Sciences in «Space Engineering and Technology» from the Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, and an automation engineer for the Akimat of the Saryarka district of Astana, located at 13 Saryarka Avenue, 010000, Astana, Kazakhstan.

G.A. Begimova – Associate Professor of the Department of Turkology and a Candidate of Philological Sciences at the Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, located at 2 Satpayev Street, 010000, Astana, Kazakhstan.



Copyright: © 2024 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 55.19.03

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-149-4-119-127>

Article

Modelling the stress-strain state of tool during the milling of hard-to-machine materials

B.S. Donenbayev¹, K.T. Sherov*², S.Sh. Magavin², A.K. Rakishev¹,
L.N. Makhmudov³

¹*Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan*

²*S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan*

³*Navoi State University of Mining and Technologies, Navoi, Uzbekistan*

(E-mail: *balytshan09@mail.ru)

Abstract. This study examines the sequence of studying the stress-strain state of end mills during the machining of heat-resistant, high-alloy steel 15Kh12VMF. The study involves several stages: the creation a 3D model of the end mill, the assignment material properties, the partitioning of the geometry into finite elements, the setting of boundary conditions, and the analysis of the solution results. The components of the cutting forces are applied to the immediate contact area of the helical cutting edge with the workpiece, while the torque is applied about the cutter axis. Both the cutting force components and the torque are calculated for critical cutting conditions. The results of the strength calculations can be utilised in end mill design optimisation.

Keywords: high speed milling, end mill, finite element, stress, deformation, heat-resistant steel.

Received 18.10.2024. Revised 18.10.2024. Accepted 07.12.2024. Available online 31.12.2024

¹*the corresponding author

Introduction

In engineering enterprises across the Republic of Kazakhstan, parts of process equipment and machinery are often exposed to challenging production environments. As a result, they are manufactured from special alloys, including titanium alloys, as well as high-alloy, corrosion-resistant, and heat-resistant steels, all of which are difficult-to-machine materials [1,2]. One such material, widely utilised in engineering production, particularly by *Gidro Stanko Servis LLC*, is the heat-resistant high-alloy steel 15Kh12VMF. This steel belongs to the martensitic-ferritic class and exhibits a Brinell hardness ranging from HB 229 to 269. It is employed in the manufacture of components that operate under high-temperature conditions, such as gas distributor housings, rotary kiln bandages for cement production, turbine parts, and more.

During the machining of the aforementioned parts, a significant portion of the mechanical operations involves milling pockets, grooves, and ledges, typically performed with end mills. These operations generally require high cutting parameters for the efficient processing of such materials. However, under these conditions, the consumption of end mills is considerable [3]. This is particularly noticeable during high-speed milling of complex shapes on advanced CNC machines. In the high-speed milling of heat-resistant, high-alloy steel 15Kh12VMF, it has been observed that at spindle speeds exceeding $n_{\text{шп}} \geq 6000\text{--}7000$ rpm, noticeable wear occurs on the cutting edges of the tools [4,5]. Consequently, the study of the stress-strain state (SSS) of tools during the milling of hard-to-machine materials is highly relevant. Specifically, in the design of milling processes for such materials, it is crucial to account for limitations imposed by cutting conditions. Addressing these challenges necessitates the development of methods for investigating the stress-strain state of end mills.

To address this problem, the multifunctional software Ansys Workbench (WB) will be utilised. This research was conducted as part of the grant-funded project AP19175058, titled "Numerical Modelling of Cutting Processes for Difficult-to-Machine Materials in the Context of Machine-Building Enterprises of the Republic of Kazakhstan," aimed at supporting young scientists.

Modelling of the Stress-Strain State of an End Mill and Analysis of the Results

Creation of a 3D Model of the 'Tool-Workpiece' System

The geometry of the three-dimensional model of the end mill is shown in Figure 1.

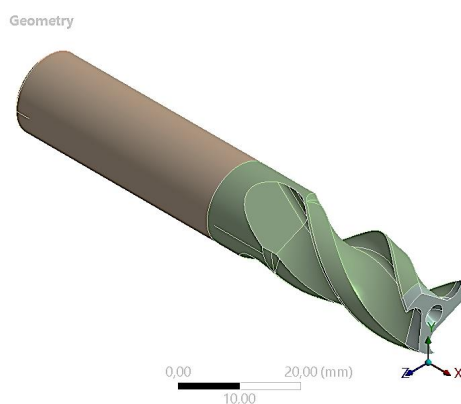


Figure 1. 3D geometry of the end mill

Purpose of the material

To carry out a strength calculation of a carbide end mill, the following parameters are sufficient as characteristics: $E=2 \cdot 10^{11}$ Pa – Young’s modulus, $\nu=0.3$ – Poisson’s ratio and $\rho=7850$ kg/m³ – density [6,7].

Creation of a finite element model

The most critical areas of the end mill were broken down into smaller end elements (Figure 2).

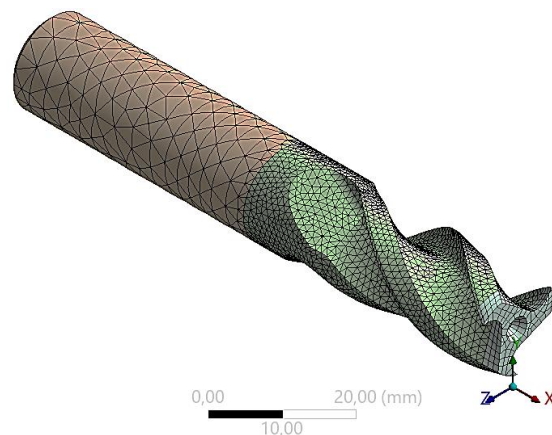


Figure 2. Finite element mesh

Setting boundary conditions

At this point, the cutting force (A) 339.3N was formed from the component forces, the torque (B) was calculated and equal to 12000 N mm, and at the point of connection with the machine, it was clamped (C) (Figure 3).

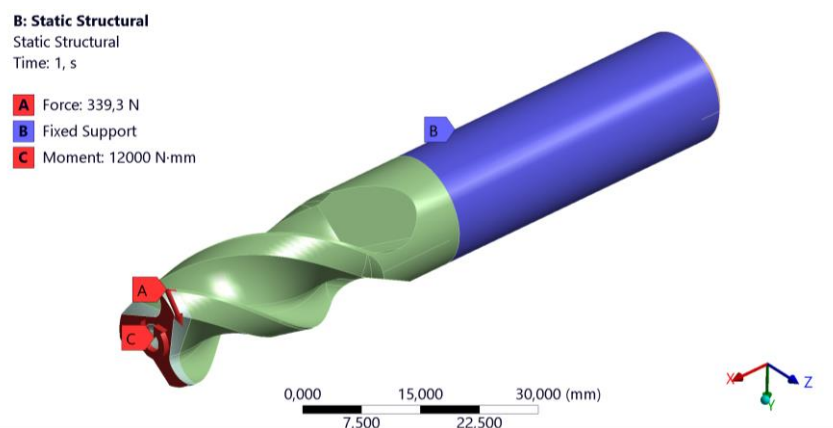


Figure 3. End mill boundary conditions

Analysis of results

After running the solver, the results can be obtained. Figure 4 illustrates the deformations of the end mill, with the maximum total deformation reaching 41 μ m.

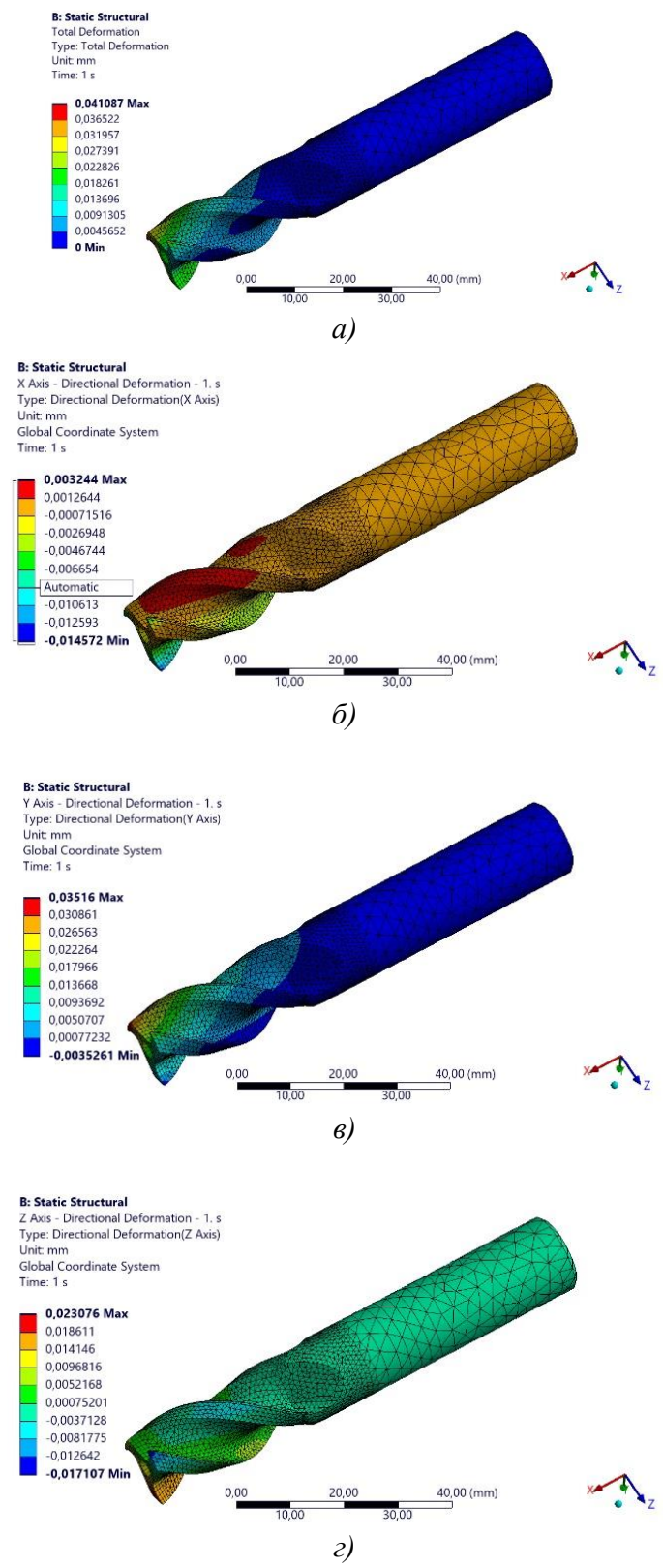


Figure 4. Deformations of the end mill: a) total; b) along the X axis; c) along the Y axis; d) along the Z axis

The deformation along the X axis was $-14.6 \mu\text{m}$, along the Y axis $-35 \mu\text{m}$ and along the Z axis $-23 \mu\text{m}$.

Figure 5 shows the equivalent von Mises stress and it is noticeable that the stress concentration occurs at the end of the cutting edge and reaches 1352 MPa. And this indicates the occurrence of wear of the cutting edge.

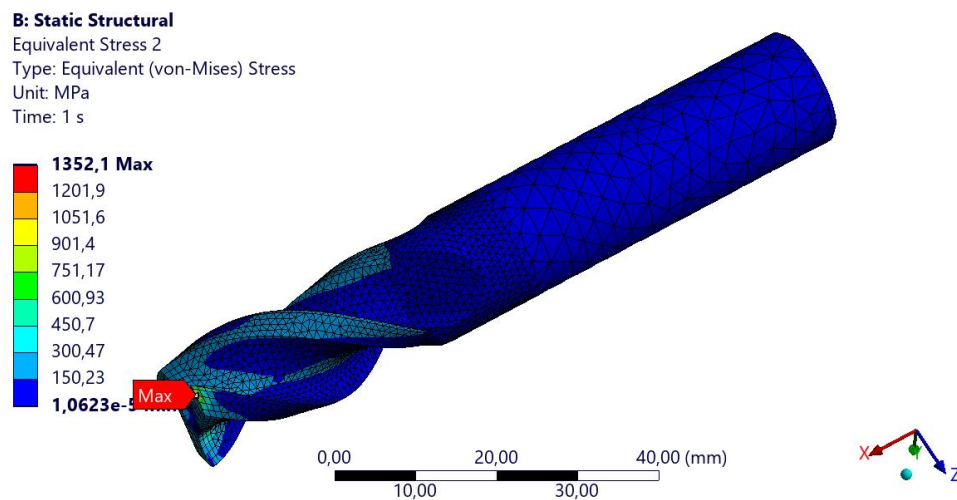


Figure 5. Equivalent stress according to von Mises

The shear stress in the YZ plane at the cutting edge also reached a maximum value of 608 MPa (Figure 6).

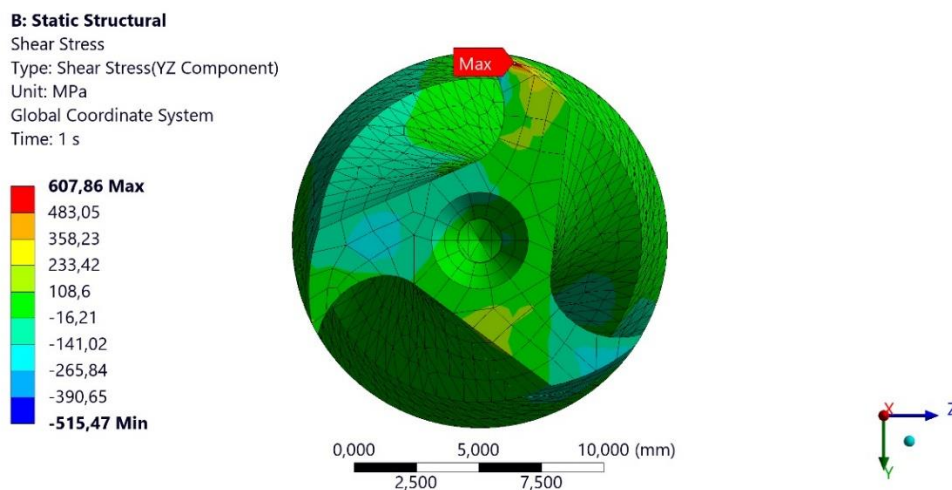


Figure 6. Shear stress in the YZ plane

Conclusions

Based on the results of the strength calculations, the total deformation and its components along the X, Y, and Z axes were obtained. The total deformation was measured at – 41 μm .

The calculations confirmed that at spindle speeds exceeding $n_{sp} \geq 6000\text{--}7000$ rpm, wear occurs at the cutting edge, with an equivalent von Mises stress of – 1352 MPa and a shear stress of 608 MPa. It is therefore recommended that processing should not exceed spindle speeds of $n_{sp} \geq 6000\text{--}7000$ rpm.

The contribution of the authors.

B.S. Donenbaev – development of the calculation model, interpretation and processing of results.

K.T. Sherov – review of existing methodologies, research of the state of the problem and conclusions.

S.Sh. Magavin – concept, methodology and text correction.

A.K. Rakishev – experiment, calculation of cutting force components and analysis.

L.N. Makhmudov – development of the calculation scheme, data collection and processing.

References

1. Sherov K.T., Tusupova S.O., Makhmudov L.N., Kenzhebekova A.E. Osobennosti klassifikatsii trudnoobrabatyvaemykh materialov // Collection of works of the XII International scientific and practical conference "Innovative technologies and engineering", dedicated to the 60th anniversary of the Karaganda Industrial University, 19-20.X.2023 Temirtau: Publishing house of KIU, pp. 568-571.

2. Sherov K.T., Mardonov B.T., Makhmudov L.M., Ainabekova S.S., Isaev D.T., Imasheva K.I. Sposob obrabotki titanovykh splavov // Proceedings of the IV-international conference on integrated innovative development of Zarafshan region: achievements, challenges and prospects dedicated to the 65th Anniversary of Navoi Mining and Metallurgical Company, Navoi, Uzbekistan, Volume II, 16-17 November, 2023., C. 5 – 6.

3. Sherov K.T., Tusupova S.O., Mardonov B.T., Makhmudov L.N., Ainabekova S.S. Voprosy mekhanicheskoy obrabotki trudnoobrabatyvaemykh materialov // Proceedings of the IV-international conference on integrated innovative development of Zarafshan region: achievements, challenges and prospects dedicated to the 65th Anniversary of Navoi Mining and Metallurgical Company, Navoi, Uzbekistan, Volume II, 16-17 November, 2023., C. 85 – 86.

4. Sherov K.T., Tusupova S.O., Kuzminova N.Yu., Makhmudov L.N., Ainabekova S.S. Issledovanie iznosa tverdospavnykh rezhushchih plastin v processe vysokoskorostnogo frezerovaniya trudnoobrabatyvaemykh materialov / Science and Technology of Kazakhstan. - Pavlodar: Publishing house "KEREKU" PSU named after S. Toraihyrov, 2024.- No. 2- P. 115-129.

5. Sherov K.T., Mardonov B.T., Makhmudov L.N., Tusupova S.O. Povyshenie kachestva frezernoj operatsii pri obrabotke trudnoobrabatyvaemykh materialov // Proceedings of the V-international conference on integrated innovative development of Zarafshan region: achievements, challenges and prospects. Navoi, Uzbekistan, Volume II, 18-19 April, 2024, C. 7-8.

6. Karsakova, N., Sherov, K., Donenbayev, B., Sherov, A., Tussupbekova, G. Calculation of the boring bar design for static rigidity and strength with simultaneous boring of a stepped hole with further

optimization // Journal of Applied Engineering Science, 2023, 21(1), pp. 300–312, <https://doi.org/10.5937/jaes0-40340>

7. Sherov, K.T., Sikhimbayev, M.R., Donenbayev, B.S., Sagitov, A.A., Ainabekova, S.S. Experimental Research of Rotational-and-Frictional Boring of Big Holes in Large Parts // Journal of Theoretical and Applied Mechanics (Bulgaria), 2017, 47(4), pp. 23–36, <http://dx.doi.org/10.1515/jtam-2017-0018>

Б.С. Доненбаев¹, К.Т. Шеров², С.Ш. Магавин², А.К. Ракишев¹, Л.Н. Махмудов³

¹Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,

Қарағанды, Қазақстан

²С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,

Астана, Қазақстан

³Науаи мемлекеттік тау-кен технологиялық университеті, Науаи, Өзбекстан

Қиын өңделетін материалдарды өңдеу үрдісіндегі құралдың кернеулі деформацияланған күйін модельдеу

Аңдатпа. 15X12ВМФ ыстыққа төзімді жоғары легирленген болатты өңдеу кезінде саусақты жонғыштың кернеулі деформацияланған күйін зерттеу реті қарастырылған. Зерттеу келесі кезеңдерден тұрады: саусақты жонғыштың 3D геометриясын құру, материалды тағайындау, ақырлы-элементтікке бөлу, шекаралық шарттарды беру және шешім нәтижелерін талдау. Кесу күштерінің құрашылары бұрандалы кесу жиегінің дайындамамен тікелей жанасу аймағына түсіріледі, ал айналу момент кескіш осіне қатысты әсер етеді. Кесу күштерінің құраушылары мен айналу моменті дағдарыс кесу режимдерінде есептелді. Беріктікті есептеудің есептік көрсеткіштері саусақты жонғыштың жобалау есептерінде қолданыла алады.

Кілт сөздер: жоғары жылдамдықты фрезерлеу, саусақты жонғыш, ақырлы-элемент, кернеу, деформация, ыстыққа төзімді болат.

Б.С. Доненбаев¹, К.Т. Шеров², С.Ш. Магавин², А.К. Ракишев¹, Л.Н. Махмудов³

¹Карагандинский технический университет имени А. Сағынова, Караганда, Казахстан

²Казахский Технический исследовательский университет имени С.Сейфуллина

³Государственный горно-технологический университет имени Навои, Навои, Узбекистан

Моделирование напряженно-деформированного состояния инструмента в процессе фрезерования труднообрабатываемых материалов

Аннотация. Рассмотрена последовательность исследование напряженно деформированного состояния концевыми фрезами при обработке жаропрочной высоколегированной стали 15X12ВМФ. Исследование состоит из следующих этапов: создание 3D геометрии концевой фрезы, назначение материала, разбиение на конечные элементы, задание граничных условия и анализ результатов решения. Составляющие сил резания приложены на непосредственный участок

контакта винтовой режущей кромки с заготовкой, а крутящий момент приложен относительно оси фрезы. Составляющие сил резания и крутящий момент были вычислены в критических режимах резания. Расчетные показатели прочностного расчета могут быть использованы в задачах проектирования концевых фрез.

Ключевые слова: высокоскоростное фрезерование, концевая фреза, конечный элемент, напряжение, деформация, жаропрочный сталь.

References

1. Sherov K.T., Tusupova S.O., Makhmudov L.N., Kenzhebekova A.E. Osobennosti klassifikacii trudnoobrabatyvaemyh materialov // Collection of works of the XII International scientific and practical conference "Innovative technologies and engineering", dedicated to the 60th anniversary of the Karaganda Industrial University, 19-20.X.2023 Temirtau: Publishing house of KIU, pp. 568-571.
2. Sherov K.T., Mardonov B.T., Makhmudov L.M., Ainabekova S.S., Isaev D.T., Imasheva K.I. Sposob obrabotki titanovyh splavov // Proceedings of the IV-international conference on integrated innovative development of Zarafshan region: achievements, challenges and prospects dedicated to the 65th Anniversary of Navoi Mining and Metallurgical Company, Navoi, Uzbekistan, Volume II, 16-17 November, 2023., C. 5 – 6.
3. Sherov K.T., Tusupova S.O., Mardonov B.T., Makhmudov L.N., Ainabekova S.S. Voprosy mekhanicheskoy obrabotki trudnoobrabatyvaemyh materialov // Proceedings of the IV-international conference on integrated innovative development of Zarafshan region: achievements, challenges and prospects dedicated to the 65th Anniversary of Navoi Mining and Metallurgical Company, Navoi, Uzbekistan, Volume II, 16-17 November, 2023., C. 85 – 86.
4. Sherov K.T., Tusupova S.O., Kuzminova N.Yu., Makhmudov L.N., Ainabekova S.S. Issledovanie iznosa tverdospлавных rezhushchih plastin v processe vysokoskorostnogo frezerovaniya trudnoobrabatyvaemyh materialov / Science and Technology of Kazakhstan. - Pavlodar: Publishing house "KEREKU" PSU named after S. Toraighyrov, 2024.- No. 2- P. 115-129.
5. Sherov K.T., Mardonov B.T., Makhmudov L.N., Tusupova S.O. Povyshenie kachestva frezernoj operacii pri obrabotke trudnoobrabatyvaemyh materialov // Proceedings of the V-international conference on integrated innovative development of Zarafshan region: achievements, challenges and prospects. Navoi, Uzbekistan, Volume II, 18-19 April, 2024, C. 7-8.
6. Karsakova, N., Sherov, K., Donenbayev, B., Sherov, A., Tussupbekova, G. Calculation of the boring bar design for static rigidity and strength with simultaneous boring of a stepped hole with further optimization // Journal of Applied Engineering Science, 2023, 21(1), pp. 300–312, <https://doi.org/10.5937/jaes0-40340>
7. Sherov, K.T., Sikhimbayev, M.R., Donenbayev, B.S., Sagitov, A.A., Ainabekova, S.S. Experimental Research of Rotational-and-Frictional Boring of Big Holes in Large Parts // Journal of Theoretical and Applied Mechanics (Bulgaria), 2017, 47(4), pp. 23–36, <http://dx.doi.org/10.1515/jtam-2017-0018>

Information about the authors:

B. Donenbaev – PhD, Senior Lecturer, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, 010027, Nursultan Nazarbayev Ave., 56, Karaganda, Kazakhstan

K.T. Sherov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, 010000, Zhenis Avenue 62, Astana, Kazakhstan.

S. Magavin – candidate of technical sciences, associate professor, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, 010000, Zhenis Avenue 62, Astana, Kazakhstan.

A. Rakishev – PhD, Senior Lecturer, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, 010027, Nursultan Nazarbayev Ave., 56, Karaganda, Kazakhstan.

L. Makhmudov – associate professor, Navoi State University of Mining and Technologies, 210100, st. Galaba 76V Navoi, Uzbekistan.

Б.С. Доненбаев – доктор PhD, старший преподаватель, Карагандинский технический университет им. А. Сагинова, 010027, пр. Нурсултана Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан.

К.Т. Шеров – доктор технических наук, профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, 010000, проспект Жеңіс 62, город Астана, Республика Казахстан.

С.Ш. Магавин – к.т.н., доцент, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, 010000, проспект Жеңіс 62, город Астана, Республика Казахстан.

А.К. Ракишев – доктор PhD, старший преподаватель, Карагандинский технический университет им. А. Сагинова, 010027, пр. Нурсултана Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан.

Л.Н. Махмудов – соискатель, Навоийский государственный горно-технологический университет, 210100, ул. Галаба 76В, Навои, Узбекистан.

Б.С. Доненбаев – PhD докторы, аға оқытушы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, 010027, Нұрсұлтан Назарбаев даңғылы 56, Қарағанды, Қазақстан.

К.Т. Шеров – техника ғылымдарының докторы, профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 010000, Жеңіс даңғылы 62, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы.

С.Ш. Магавин – техника ғылымдарының кандидаты, доцент, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 010000, Жеңіс даңғылы 62, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы.

А.К. Ракишев – PhD докторы, аға оқытушы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, 010027, Нұрсұлтан Назарбаев даңғылы 56, Қарағанды, Қазақстан.

Л.Н. Махмудов – ізденуші, Науаи мемлекеттік тау-кен технологиялық университеті, 210100, Галаба көш-сі 76В, Науаи, Өзбекстан.



Copyright: © 2024 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 55.19.03

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-149-4-128-144>

Article

Organization of spatial structure of cities on the basis of architectural design code on the example of almaty city

D. Almukasheva*¹ , G. Maulenova¹ , 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. This article explores the problem of organizing the spatial structure of cities and solving this problem with the help of architectural design codes, such as the city of Almaty. The issues of the illumination of principles and design approaches to create a harmonious urban environment, the development of algorithms, and the implementation of architectural design codes present the problems of the organization of the architectural and urban planning environment, as in the example of the city of Almaty. The article is based on research conducted in Almaty, Kazakhstan's significant economic and cultural center. The article presents an approach based on architectural design code as a tool to overcome the difficulties in planning and development of the urban environment. The article discusses the basic principles in developing architectural design codes for urban environments. Special attention is paid to creating a unique identity for the city, ensuring sustainability and accessibility of urban spaces, and creating a balance between modernity and preservation of cultural heritage.

Keywords: architectural design code, pedestrian space, streets, urban environment, urban planning.

Received 22.10.2024. Revised 23.10.2024. Accepted 19.11.2024. Available online 31.12.2024

*the corresponding author

Introduction

Modern cities are complex and dynamic organisms, similar to living organisms, constantly developing and transforming under the influence of social, economic, and cultural factors (Yoshiki & Perry, 2020). Each city has its own unique architectural structure that reflects its history, values, and inhabitants' needs. The spatial organization of cities plays a key role in creating a comfortable and functional urban environment to meet the needs of different social strata of the population (Yan et al., 2024).

The Architectural Design Code is a set of rules, principles, and standards designed to regulate architectural activities in cities and ensure their coherence with overall development goals. This approach to organizing the spatial structure of cities is a vital tool for achieving harmony between urban development, the environment, and the needs of its inhabitants.

One of the most exciting and illustrative examples of a city in which the city department «Almatygenplan» is trying to introduce an architectural design code, which is currently at the stage of discussion with the citizens (<https://legalacts.egov.kz/npa/view?id=14847560>) to organize the spatial structure, is Almaty – the largest city and former capital of the Republic of Kazakhstan. Almaty is known for its ancient and rich history and diverse cultural heritage. In recent decades, the city has witnessed significant growth and development, which entailed various aspects of urbanization and necessitated the introduction of modern approaches to spatial organization.

The purpose of this article is to review and analyze the organization of the spatial structure of Almaty City based on the architectural design code. It will consider the fundamental principles and standards that define the development of the city and their impact on the formation of a unique image of Almaty, as well as assess the achieved results and challenges faced by the city administration in the implementation of the architectural design code.

The research hypothesis is to study the architectural design code for the city of Almaty. This will identify the key structural elements that influence the organization of space in the city, which can contribute to improving the layout and development of sustainable urban spaces.

The methodology

Urbanization is becoming increasingly relevant in today's world as more and more people seek to move from rural to urban areas in search of better opportunities and quality of life (Yang et al., 2023). However, preserving the city's unique look and style is an urgent problem for the urban architect. After all, the city is a complex spatial planning structure located under intensive new development and reconstructed historical environment conditions.

At the core of the fabric of the historic city are locally established socio-spatial structures - components of the urban environment with "attached" values and social meanings that need to be identified. (Caniggia and Maffei, 2001). Generally, the fabric of a historic city is morphotypic. A morphotype is an evolutionary variety of planning and spatial organization of urban development (Selby et al., 2019). Naturally, each of the morphotypes in a particular city is purely individual, peculiar to this particular city's features and flavor. (Maretto, 2014) According to K.

Lynch, the urban structure consists of five essential elements (paths, nodes, cells, boundaries, landmarks) of urban composition, operating with which it is possible to model almost any environmental subject (Levy, 1999).

A city is a whole object. However, the urban planner and architect-urbanist perceive the city as something other than one from the point of view of architecture. Buildings can be in the same style, even all elements such as sidewalks, roads, squares, parks, location of institutions, but their integrity and connection and create an urbanized or compositional framework, which is part of the urban fabric and provides the cohesion of its essential planning elements (Oliveira, 2021). The urbanized framework forms a stable, over-time basis for the city's layout. An urbanized (compositional) framework can be called an interconnected hierarchical system of compositional centers (nodes, dominants), spatial axes, and links between these centers (Potaev, 2014). It includes the most intensively developed and well-accessible parts of the urban area. If we abstract and consider the city as a holistic spatial structure (following the example of Kazimir Malevich's architects in one neutral material, only on an urban planning scale), then the most dimensional voids (open spaces between the fabric of buildings) will be the very urbanized frame. It should be noted, however, that this applies only to a coherent urban fabric with a clear structure. A fragmented fabric with gaps and unclear morphology requires reconstruction, and open spaces should be compacted and structured about the integral compositional structure. According to A.E. Gutnov, the framework is "the leading, structure-forming part of the urban planning system, which covers the area of concentration of functional activity of the most massive processes of life activity of the population, associated with high intensity of space development. The framework of the urban planning system is formed by the main transport highways, communication nodes, and associated structures of urban significance- public, business, and other unique complexes that attract mass flows of visitors.

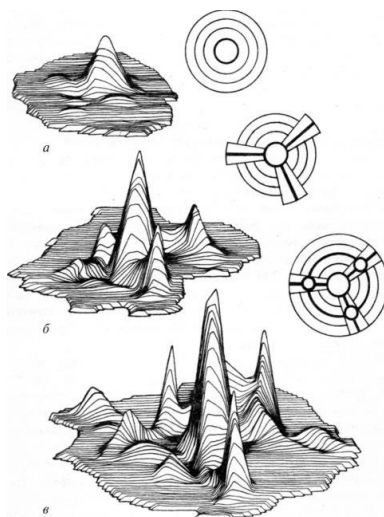


Figure. 1. Changes in the relief of the intensity of land development in the process of growth cities
a – concentric structure; b – sectoral structure; c – multinuclear structure (mutual superposition of concentric and sectoral) (by A. Gutnov)

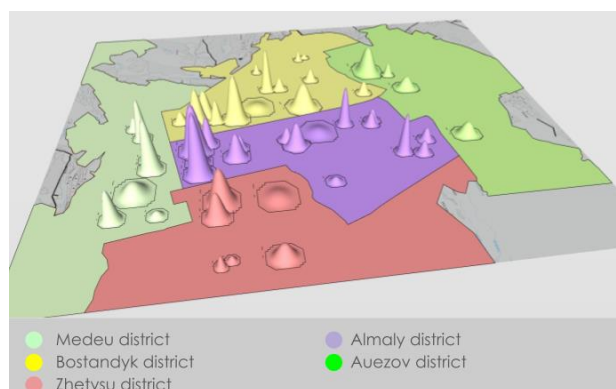


Figure. 2. Relief of the intensity of land development in the process of growth Almaty city for 2023
(Source: Author)

The sector and multi-core structure of the city is as close as possible to current urban development. We are increasing the number of public and residential centers and the density of development. This divides the city into modern and historical parts over time, requiring a different approach to design. The cities with a center formed over the last decades are characterized by the problem of choice of functional orientation, monotony of the environment, the presence of vacant territories, the problem of harmonious integration of new objects into the existing development, and high costs.

In order to identify the problems of work of the composite framework of the city. Visual analysis was carried out in Almaty (Fig.3). Visual contact with the architectural environment allows you to visually highlight several features of the volumetric and spatial organization of the architectural environment to capture individual mise-en-scene of public space (Inglis et al., 2022). Visual analysis consists of assessing the aesthetic and compositional characteristics of the object and determining the optimal points of perception of the ensemble.

In the site survey process, the visual boundaries of the ensemble territory and the zones of the public space formed in the form of gravitation zones are marked. The result of the visual analysis is the identification of the compositional role of the architectural ensemble elements in the public structure and the semantic logic of the relationship between the centers of attraction and people's activities in the public space. The obtained material serves as a basis for scenario modeling of the object (Fig. 3).

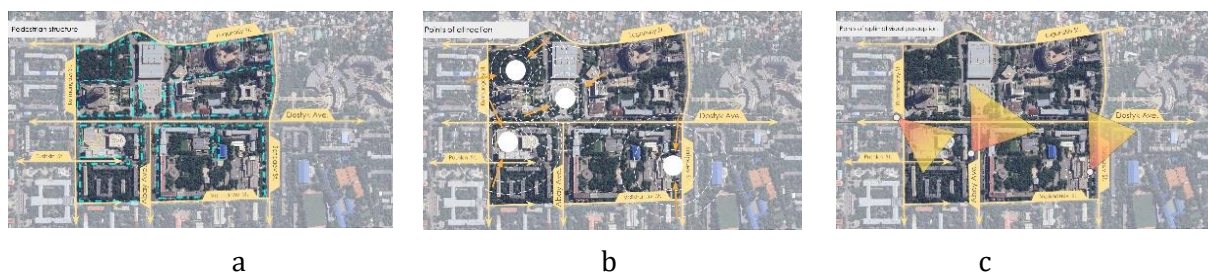


Figure. 3. Analysis of the linear-nodal public space of Almaty city
a – pedestrian structure; b – points of attraction; c – points of optimal visual perception; (Source: Author).

Compositional analysis evaluates the compositional integrity of the ensemble and its fragments, cognizant of the regularities of the construction of artistic images. The results are applied in the development of the formation of architectural design codes (Moughtin, 2003).

We can identify several negative nuances by analyzing and evaluating the composite framework of Almaty's urban environment. Firstly, one of the acute problems is the congestion of the street network, i.e., transportation chaos and traffic jams. With population growth and car fleet, the city faces overloaded road networks and the need for efficient public transportation systems. This makes it difficult for city dwellers to get around, leading to air pollution and increased time spent on transportation movements.

Secondly, an accessible urban environment has not been created, and it also narrows the space of movement for people with low mobility. There are no complaints about the quality of the sidewalk areas; they are periodically reconstructed, and sidewalk tiles are brought to a proper form, which will not create obstacles, but the underpasses and ramps in the pedestrian part are incorrectly designed, which hinders the movement of people with disabilities – in this regard, paying attention to the underpasses, building either decent ramps or elevators there (which is less possible), or modernizing the underpass into a street overpass.

Thirdly, one of the problems is the lack of clear zoning of urban space, monotony of small architectural forms, and lack of "image" of the city. These problems create a pedestrian outflow from the streets and negatively affect tourism.

The solution to these problems is possible only if there is a clear compositional structure and semantic and visual diversity of its elements, creating a transformable environment that is a source of positive, diverse emotions and harmony of interaction with the environment.

The methods of sociological survey on the level of comfort of urban spaces and structural analysis were used for in-depth analysis to identify problems in the organization of Almaty's subject-spatial environment. The collected data are presented in tables (tab.1-2).

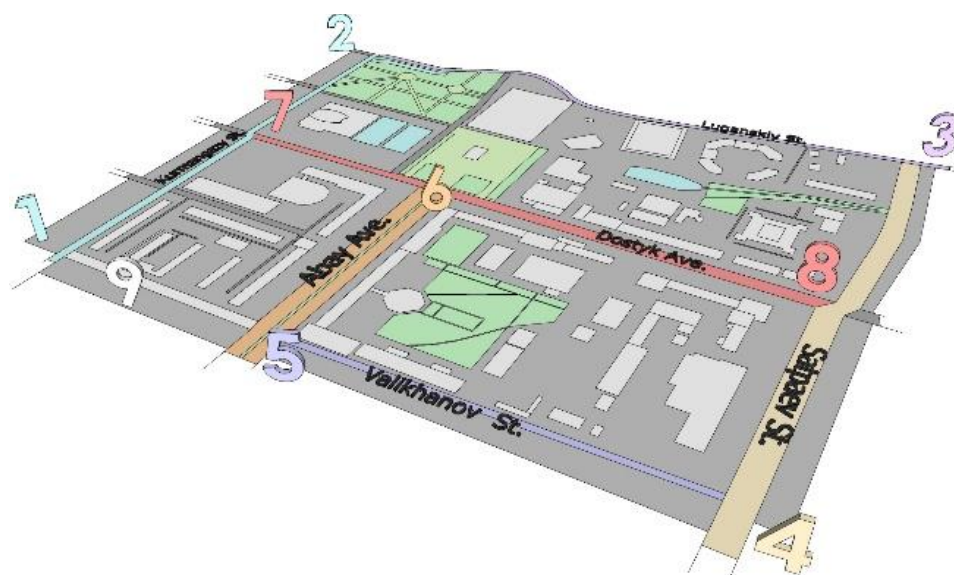


Figure 4. Location of survey and sociological poll in Almaty city within the boundaries of Kurmangazy – Luganskogo – Satpayev – Valikhanov streets (Source: Author).

Table 1. Results of the analysis of urban architectural spaces in Almaty based on social survey (Source: Author).

Author).

Survey location	Element	Identified problems on the basis of sociological survey	Recommendations for future development
Survey location 5-6 (Valikhanova-Abay-Dostyk)	Yard space	<ul style="list-style-type: none"> - Narrow walkways; - playground elements have insufficient aesthetic appearance and a low level of safety; - There is no zoning of the yard territory: there is no structurally separated zone for children, teenagers, adults and elderly people; - Many residents note that the number of users of the yard has decreased due to the lack of sports equipment; - The seating is not spacious enough and not safe; - low percentage of landscaping in the yard; - Pedestrian accessibility problems in the yard, approaches to entrances and sidewalks are used as parking lots; - absence of elements for low mobility groups; - facades of residential buildings have insufficiently 	<ul style="list-style-type: none"> - Placement of secure bicycle parking in the courtyard; - organization of a sports ground; - increase in parking spaces; - reorganization of children's playgrounds; - design of ramps and other elements for low mobility groups;
2-3 (Kurmangazy-)	Pedestrian space	<ul style="list-style-type: none"> - unsafe crossing of the roadway by pedestrians; - low road surface level; - shortage of parking spaces near frequently visited facilities; - Lack of pedestrian space by widening roadways; - insufficiently aesthetic architectural appearance of buildings and structures; - insufficient level of landscaping; 	<ul style="list-style-type: none"> - Increased security; - Renovation of the architectural appearance of buildings; - Increase in parking spaces; - Increased landscaping; - Expansion of pedestrian areas;
6-7 (Kurmangazy-Dostyk-Abay)	Square / public garden	<ul style="list-style-type: none"> - environmental pollution due to irrational placement of parking lots; - insufficient level of improvement; - Irrational alignment of pedestrian paths within the green space structure; - lack of bicycle traffic routes; - insufficient seating; - low functional diversity; - insufficiently developed green framework of the territory; - deviant behavior develops due to poor environmental formation; 	<ul style="list-style-type: none"> - Formation of a rational and safe pedestrian network; - increasing the share of green spaces; - Rationalization of vehicle traffic and parking spaces; - formation of a convenient and accessible pedestrian network for low mobility groups; - increase in the number of seating areas; - development of the green framework of the territory development of multifunctionality of the territory.

The analysis of answers indicates that the population sees the perspective of city development in deurbanization, decolonization of the environment, and uniform greening of territories. Although the city is the southern capital of the country, the sociological survey shows that the structure, layout, and interior of streets require significant improvement.

Residents within the boundaries of Lugansky-Kurmangazy-Ualikhanova-Satpayev streets, students of nearby universities, pensioners, schoolchildren, and tourists participated in the survey. About 100 respondents participated in the survey; the survey questioning the city's residents was conducted in person (individually), and data processing took about a month. The survey showed that most citizens want to experience the urban environment above the specified street boundaries.

The survey results confirmed the hypothesis that a comprehensive approach is needed in the form of Almaty city's developed architectural design code to design the urban environment, taking into account the development of sustainable urban spaces. The city needs ecologization, increasing infrastructure saturation, and improving the quality of the living environment.

Table 2. Assessing the quality of pedestrian spaces in terms of their efficiency of functioning (Source:Author).

Evaluation scale for pedestrian space performance level				Quality indicators of pedestrian spaces in Almaty city														
				Mobility (dynamic)			Physical comfort (static)			Social comfort				Multifunctionality of the environment (conversion)				
Survey location (section)	Efficiency class	Generalized efficiency assessment	Assessing the effectiveness of pedestrian transit	Width	Transitability	Intuitive navigation	The interrelationship of static and dynamic.	Seating arrangement	Environmental conditions	Conditions for	Conditions for safety	Order and tidiness	Illumination	Videoecology	Barrier-free	Multifunctionality	Equal distribution of penetration sites	Adequacy of parking space allocation
1-2	C	2,93																
2-3	D	2,41																
3-4	C	3,29																
4-5	C	2,6																
5-6	C	3,58																
7-8	C	3,13																
1-9	C	2,72																
Level of quality of pedestrian spaces				2,9	3,7	3,02	2	2,3	1,7	2,8	3,58	3,62	3,5	2,7	2,5	1,85	1,89	2
Class A	perfectly 4,6-5	Class B	Well 3,6-4,5	Class C	satisfactorily 2,6-3,5	Class D	unsatisfactorily 1,6-2,5	Class E	badly 1-1,5									

The assessment results of the efficiency of urban open spaces have shown that the current situation of the fragments of pedestrian spaces studied in Almaty is not critical on 25% of the territory indicators characterizing the efficiency of their use. However, if we compare with the indicators of the "comparative sample" (similar European pedestrian space with a high level of effectively used territories) (Anciaes & Jones, 2020), pedestrian spaces in Almaty do not meet the requirements of the "reference." It can also be noted that the fragments, which make up 75% of the study area, require measures to improve their quality and attractiveness, especially on such indicators as the location of seating, the state of environmental and visual comfort, barrier-free environment, and others.

The main problem is the uneven distribution of infrastructure and amenities. Within the city, some neighborhoods need to be better equipped with infrastructure, such as schools, hospitals, and stores. This creates inequality in access to education, health care, and other important services for different population groups.

The loss of a city's cultural and architectural identity is a global problem (Young-Jin & Juraev, 2023). When constructing new facilities and reconstructing old ones, only economic benefits are often taken into account rather than preserving cultural and historical values. This can lead to the loss of unique architectural monuments and decrease the city's cultural wealth.

The city has congested streets and a lack of parking spaces; there are no crosswalk markings on the city streets, and curbs and sidewalk exits are present but are not in the best condition due to time and temperature differences caused by climatic conditions. Several types of fences are present, which negatively affects the formation of a unified style of the city.

In some parts of the city, small architectural objects (benches, urns, flower beds, lanterns) that create the interior of the streets are lacking; they are treated as objects of utilitarian purpose only.

Little attention is paid to the lighting design of streets, namely street lighting and architectural lighting of facades. The city pays attention to light only as a utilitarian and functional aspect to provide orientation in space; the architectural and urban planning aspect of creating the city's silhouette does not show interest (Anciaes & Jones, 2021).

Findings/Discussion

The development of algorithms for architectural design code is necessary to solve a number of problems, and optimization of the design code is necessary to ensure the competent formation of the city's structure and its further development.

The ideal solution to several problems in organizing the spatial structure of the city of Almaty is the creation of additional urban spaces, which serve as a functional basis for the dynamic environment in urban development.

In the urban environment, there is constant adaptation and renovation of space for new functions (Kamalipour & Dovey, 2020). Buildings, structures, spaces between them, and internal spaces of these volumes are being adapted. Space can be transformed with changes in its geometry, physical characteristics, and visual and figurative perception. When using transformable objects, space reorganization can occur without disturbing the existing organization of systems. That is,

it is possible to use transformable equipment as an experiment and, depending on the results, transform it into stationary or easily dismantled equipment without damage to the existing environment. Therefore, this method of creating additional urban spaces is very effective at high development rates of the architectural environment.

In the 60s and 70s, the main task in object design was to create multifunctional transformative spaces of interiors. Interesting is Joe Colombo's projects of universal modules for bedrooms, kitchens, and living rooms and the design of transformable furniture, which provided the dynamics of interior development. Gradually, these concepts began to be applied to exteriors. Designers proposed the use of transformable modules to saturate the environment. These were modules for socializing, outdoor offices, reading, and other spaces. That is, the urban space took over the functions of the interior, where there was zoning depending on human activity. It is possible to saturate the urban space using transformable universal modules with individual functions necessary for different population groups (Setyowati et al., 2013). Thus, the design of dynamic spaces at this point has evolved from object design to urban spaces. This experience is valuable for creating modern transformable systems of additional urban spaces (Jacobs, 2011).

Spaces are becoming more open, and the interior is passing into the exterior. A dynamic architectural environment is a necessary phenomenon in society's functioning and development.

There are projects on the global transformation of open spaces when a large-scale dynamic structure with the possibility of various transformations is created (Gaiduchenya, 1983). Such researchers include S. Calatrava, R. Embricks, Chuck Hoberman, and other design offices (Fig.5).

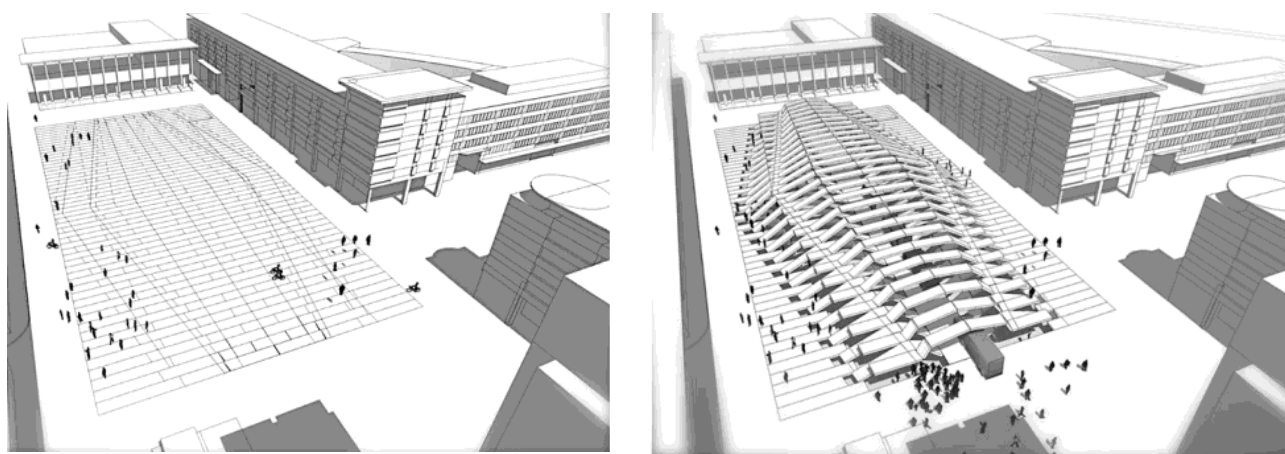


Figure 5. Design of the flexible plaza structure. R. Embricks

The use of transformable structures in the organization of additional urban spaces in Almaty will help to increase the workability of the environment (Carmona & Bento, 2023). These structures allow for the experimentation of the environment without violating its structural components. The transformable environment will solve the issue of traffic chaos on weekends through the appearance of transformable fairs on squares in each district of the city (Cui, 2021). Thus, unloading the street network and establishing pedestrian flows will favorably affect the development of small and medium-sized businesses.

In modern cities, the liveliness of urban space is a visible expression of a high concentration of diverse functions (Wilshere, 2022).

Urban population growth leads to increased pressure on urban infrastructure and resources, which makes it necessary to effectively plan and organize the spatial structure of cities (Azad & Abdelqader, 2021). One of the critical tools for achieving sustainable urban development is the architectural design code - a set of rules and guidelines that define the standards for building and developing the urban environment (Jiang et al., 2023). Its main objectives are to ensure aesthetic appeal, preserve cultural heritage, create a comfortable and safe urban environment, and ensure sustainable urban development. The architectural design code may divide the city into functional residential, industrial, commercial, and recreational zones (Jing et al., 2023). This helps to prevent the intersection of contradictory functions and create a comfortable living environment for residents.

Architectural design code has several advantages in implementation in the urban environment of Almaty:

1. Development Control.

Architectural design codes provide development control, prevent chaotic development, and preserve the unity of the city's architectural appearance (Carmona, 2023). They also avoid uneven development and disorderly infrastructure location. An essential aspect of the architectural design code is regulating building heights in different city areas. For example, historic centers can limit the height of buildings and thus preserve the color in the historic part of the city.

2. Improvement of the urban environment.

Architectural design code aims to create a quality urban environment, improving citizens' overall quality of life (Chang & Goodwin, 2022). Green areas, public spaces, pedestrian alleys, and other elements of urban infrastructure become more accessible and functional. Almaty is famous for its beautiful parks and green areas. Architectural design codes can define rules and restrictions for development near parks and other green areas to preserve their natural beauty and ecological value.

3. Balanced Development.

The design code promotes a balanced development of different city areas (Ivana Caviar, 2023). It can create cultural and commercial centers and educational and medical facilities within predetermined zones, which avoids overloading some areas and further stimulates the development of others.

4. Maintaining tradition and identity. The architectural design code considers and preserves the city's historical and cultural identity (Luo & Chiou, 2021). The preservation of architectural monuments and traditional elements in the design of new buildings and streets creates a sense of unity and attractiveness for residents and tourists (Morgun et al., 2017; Jabbari et al., 2023).

Like many other significant megacities in the world, the spatial structure of the city of Almaty faces several serious challenges that affect the quality of life of citizens and the sustainability of the urban environment. In recent decades, the city of Almaty has faced population growth and urbanization, which has led to the need for sustainable development strategies. In this context, the architectural design code plays a crucial role in organizing the city's spatial structure. It

defines standards for new constructions, reconstruction of existing buildings, and infrastructure development (Zhou & Wang, 2024).

Conclusions

The urban environment should be a comfortable and maximally adapted space, which is created taking into account a particular set of factors: the presence or absence of the historical center of the city, the formation of a competent layout of the street network, the creation of unimpeded transport accessibility, the presence of recreational and public areas, modeling clear zoning of the city, creating the necessary conditions of accessibility of objects for different categories of the population. (Potapova, 2012).

According to studies conducted in Almaty, the main problems that reduce the quality of urban environment are:

- insufficient number of greening facilities and other high-quality recreational areas;

A large amount of low-quality housing stock;

- problems of the transportation system, expressed in a large number of traffic jams and an increase in the number of areas occupied by parking lots (Boeing et al., 2024; Choi & Ewing, 2021);

- high level of air pollution, migration problems.

In the long term, applying the architectural design code in Almaty should lead to sustainable development outcomes for both the urban community and the urban economy. The normative legal definition of this design tool should be more clearly, holistically, and consistently defined in implementation.

In conclusion, the need for an architectural design code in Almaty is due to many factors. Unfortunately, the design code developed in Almaty only regulates the placement of signs and the coloristic solution of facades. However, this document should cover a much larger number of aspects related to a comfortable urban environment, which in turn will allow to meet not only the aesthetic needs of the city but also to form an infrastructure for internal and external tourists, as well as to create a favorable environment for citizens.

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.

Maulenova G.D. – contribution to the concept.

Nazarova D.N. – interpretation of the claimed scientific research.

References

1. Ancaes P, Jones P. (2020), Transport policy for liveability – valuing the impacts on movement, place, and society, *Journal Of Transportation Research Part A: Policy and Practice* 132(3): 157-173, <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.11.009>.

2. Ancaes P, Jones P. (2021), Pedestrian priority in street design - how can it improve sustainable mobility? *Journal of Transportation Research Procedia* 60(2022):220-227, <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.12.029>.
3. Azad M., Abdelqader D., Taboada L.M., Cherry C.R. (2021), Walk-to-transit demand estimation methods applied at the parcel level to improve pedestrian infrastructure investment, *Journal of Transport Geography* 92(1433): 1-12, <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103019>.
4. Boeing G., Pilgram C., Lu Y. (2024), Urban street network design and transport-related greenhouse gas emissions around the world, *Journal Of Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 127(21): 2-23, <https://doi.org/10.2139/ssrn.4682232>.
5. Caniggia G., Maffei G.L. (2001), *Architectural composition and building typology: interpreting basic building*, Siena, Alinea Editrice.
6. Carmona M., Bento J., Gabrieli T. (2023), *Urban Design Governance: Soft Powers and the European Experience*, London, UK.
7. Carmona M. (2023), Coding design: Constructing a wireframe for a place-focused urbanism, *Journal of Progress in planning* 176(20): 1-40, <https://doi.org/10.1016/j.progress.2023.100775>.
8. 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>.
9. Choi D., Ewing R. (2021), Effect of street network design on traffic congestion and traffic safety, *Journal Of Transport Geography* 96(2): 139-151, <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103200>.
10. Cui J. (2021), Building three-dimensional pedestrian networks in cities, *Journal Of Underground Space* 6(2):217-224, <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2020.02.008>.
11. Gaiduchenya A.A. (1983), *Dynamic Architecture (main directions of development, principles, methods)*, Budilnik, Moscow, Russia.
12. Gutnov A.E. (1984), *Evolution of Urban Planning*, Stroyizdat, Moscow, Russia.
13. Ivana Cavar S. (2023), *Smart urban mobility*, Elsevier Science, Ghent, Belgium.
14. Jabbari M., Fonseca F., Smith G., Conticelli E., Tondelli S., Ribeiro P., Ahmadi Z., Papageorgiou G., Ramos R. (2023), The Pedestrian Network Concept: A Systematic Literature Review, *Journal of Urban Mobility* 3(3): 36-48, <https://doi.org/10.1016/j.urbmob.2023.100051>.
15. Jacobs D. (2011), *Death and Life of Big American Cities*, New Publishing House, Moscow, Russia.
16. Jiang F., Ma J., Webster C.J., Chiaradia Alain J.F., Zhou Y., Zhao Z., Zhang X. (2023), Generative urban design: A systematic review on problem formulation, design generation, and decision-making, *Journal of Progress in Planning* 180(1-35):100795, <https://doi.org/10.1016/j.progress.2023.100795>.
17. Jing J., Zlatanova S., Liu H., Aleksandrov M., Zhang K. (2023), A design-support framework to assess urban green spaces for human wellbeing, *Journal of Sustainable Cities a Society* 98:104779, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104779>.
18. Kamalipour H., Dovey K. (2020), Incremental production of urban space: A typology of informal design, *Journal of Habitat International* 98(2):102-133, <https://doi.org/10.1016/j.habitat-int.2020.102133>.
19. Levy A. (1999), Urban Morphology and the Problem of the Modern Urban Fabric: Some Questions for Research, *Journal of Urban Morphology* 2(3): 79-85, <https://doi.org/10.51347/jum.v3i2.3885>.

20. Luo H., Chiou B.S. (2021), Framing the Hierarchy of Cultural Tourism Attractiveness of Chinese Historic Districts under the Premise of Landscape Conservation, *Journal of Land* 10(2): 216, <https://doi.org/10.3390/land10020216>.

21. Maretto M. (2014), Sustainable urbanism: The role of urban morphology, *Journal of Urban morphology* 18(2): 163-164, <https://doi.org/10.51347/jum.v18i2.4578>.

22. Morgun N.A., Reznitskaya L.M., Skopintsev A.V. (2013), Architectural scenography of the urban environment - as a design strategy for the reconstruction of the historic city center and a factor in strengthening its tourist image, report at the congress of the inter-district association of the Southern Architectural Society of the Union of Architects of Russia, *Journal of World Applied Sciences* 26(8): 1019-1026.

23. Moughtin C. (2003), *Urban design: street and square*. Third edition, Oxford: Architectural Press, Elsevier, Oxford, UK.

24. Inglis N. C., Vukomanovic J., Costanza J., Singh K. (2022), From viewsheds to viewsapes: Trends in landscape visibility and visual quality research, *Journal of Landscape and Urban Planning* 224 (3): 1-12, <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104424>.

25. Oliveira V. (2021), *Morphological Research in Planning, Urban Design and Architecture*, Springer International Publishing, Cham, Switzerland.

26. Potaev G.A. (2014), *Composition in Architecture and Urban Planning*, INFRA-M, Moscow, Russia.

27. Potapova A.V. (2012), Methods of regeneration of historical neighborhoods in modern European practice on the example of Neu-Stadt district (Dresden, Germany), *Journal of AMIT* 2(19): 1-17.

28. Selby C., Robbie N., Mark R. (2019), *Urban mobility design*, Melbourne, VIC, Australia.

29. Setyowati E., Rochma Harani A., Nurul Falah Y. (2013), The Application of Pedestrian Ways Design Concepts as an Implementation of Sustainable Urban Open Spaces, *Journal of Procedia - Social and Behavioral Sciences* 85(1):345-355, <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.364>.

30. Wilshere M. (2022), Design codes, *Journal of Urban Design* 163(2): 7-13.

31. Yang L., Li J., Chang H.-T., Zhao Z., Ma H., Zhou L. (2023), A Generative Urban Space Design Method Based on Shape Grammar and Urban Induction Patterns, *Journal of Land* 12(6): 1-21, <https://doi.org/10.3390/land12061167>.

32. Yang L., Chang H.-T., Ma H., Wang T., Xu J., Chen J. (2023), Applying Evolutionary Computation to Optimize the Design of Urban Blocks, *Journal of Buildings* 13(3):755, <https://doi.org/10.3390/buildings13030755>.

33. Yan W., Meng Q., Yang D., Li M. (2024), Developing a theory of tranquility in urban public open spaces for future designs, *Journal of Applied Acoustics* 217: 109824, <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2023.109824>.

34. Young-Jin A., Juraev Z. (2023), Green spaces in Uzbekistan: Historical heritage and challenges for urban environment, *Journal of Nature-Based Solutions* 4(8):401-413, <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2023.100077>.

35. Yoshiki Y., Perry P.J. Yang. (2020), *Urban systems design*, Ibaraki, Japan.

35. Zhou M., Wang F. (2024), The driving factors of recreational utilization of ecological space in urban agglomerations: The perspective of urban political ecology, *Journal of Ecological Indicators* 158(2024): 598-604, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111409>.

Д.Б.Альмукашева*¹, Г.Д.Мауленова¹, Д.А.Назарова²

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

²*Ташкент сәулет-құрылыс университеті, қала құрылысы және ландшафттық сәулет кафедрасы, Ташкент, Өзбекстан*

Алматы қаласының мысалында сәулеттік дизайн- коды негізінде қалалардың кеңістіктік құрылымын ұйымдастыру

Андатпа. Бұл мақалада қалалардың кеңістіктік құрылымын ұйымдастыру және бұл мәселені Алматы қаласы сияқты сәулеттік дизайн кодтарының көмегімен шешу мәселесі қарастырылады. Үйлесімді қалалық ортаны құрудың принциптері мен жобалау тәсілдерін жарықтандыру, алгоритмдерді әзірлеу, сәулеттік жобалау кодтарын енгізу мәселелері Алматы қаласының мысалындағыдай сәулет-қала құрылысы ортасын ұйымдастыру мәселелерін ұсынады.. Мақала Қазақстанның маңызды экономикалық және мәдени орталығы Алматыда жүргізілген зерттеулерге негізделген. Мақалада қалалық ортаны жоспарлау мен дамытудағы қиындықтарды жеңу құралы ретінде сәулеттік дизайн кодексіне негізделген тәсіл ұсынылған. Мақалада қалалық орта үшін сәулеттік дизайн кодтарын әзірлеудің негізгі принциптері қарастырылған. Қала үшін бірегей бірегейлікті қалыптастыруға, қала кеңістігінің тұрақтылығы мен қол жетімділігін қамтамасыз етуге, қазіргі заман мен мәдени мұраны сақтау арасындағы тепе-теңдікті құруға ерекше көңіл бөлінеді.

Түйін сөздер: сәулеттік дизайн коды, жаяу жүргіншілер кеңістігі, көшелер, қалалық орта, қала құрылысы.

Д.Б.Альмукашева¹, Г.Д.Мауленова¹, Д.А.Назарова²

¹*Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатбаева, Алматы, Казахстан*

²*Ташкентский архитектурно-строительный университет, кафедра градостроительства и ландшафтной архитектуры, Ташкент, Узбекистан*

Организация пространственной структуры городов на основе архитектурного дизайн-кода на примере города алматы

Аннотация. В данной статье исследуется проблема организации пространственной структуры городов и решения этой проблемы с помощью архитектурных дизайн-кодов, таких как город Алматы. Вопросы освещения принципов и проектных подходов для создания гармоничной городской среды, разработки алгоритмов и внедрения архитектурных дизайн-кодов представляют проблемы организации архитектурной и градостроительной среды, как на примере города Алматы. Статья основана на исследованиях, проведенных в Алматы, важном экономическом и культурном центре Казахстана. В статье представлен подход, основанный на архитектурном дизайн-коде, как инструменте преодоления трудностей в планировании и развитии городской среды. В статье рассматриваются основные принципы разработки

архитектурных дизайн-кодов для городской среды. Особое внимание уделяется созданию уникальной идентичности города, обеспечению устойчивости и доступности городских пространств, а также созданию баланса между современностью и сохранением культурного наследия.

Ключевые слова: архитектурный дизайн-код, пешеходное пространство, улицы, городская среда, градостроительство.

References

1. Anciaes P., Jones P. (2020), Transport policy for liveability – valuing the impacts on movement, place, and society, *Journal Of Transportation Research Part A: Policy and Practice* 132(3): 157-173, <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.11.009>.
2. Anciaes P., Jones P. (2021), Pedestrian priority in street design - how can it improve sustainable mobility? *Journal of Transportation Research Procedia* 60(2022):220-227, <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.12.029>.
3. Azad M., Abdelqader D., Taboada L.M., Cherry C.R. (2021), Walk-to-transit demand estimation methods applied at the parcel level to improve pedestrian infrastructure investment, *Journal of Transport Geography* 92(1433): 1-12, <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103019>.
4. Boeing G., Pilgram C., Lu Y. (2024), Urban street network design and transport-related greenhouse gas emissions around the world, *Journal Of Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 127(21): 2-23, <https://doi.org/10.2139/ssrn.4682232>.
5. Caniggia G., Maffei G.L. (2001), *Architectural composition and building typology: interpreting basic building*, Siena, Alinea Editrice.
6. Carmona M., Bento J., Gabrieli T. (2023), *Urban Design Governance: Soft Powers and the European Experience*, London, UK.
7. Carmona M. (2023), Coding design: Constructing a wireframe for a place-focused urbanism, *Journal of Progress in planning* 176(20): 1-40, <https://doi.org/10.1016/j.progress.2023.100775>.
8. 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>.
9. Choi D., Ewing R. (2021), Effect of street network design on traffic congestion and traffic safety, *Journal Of Transport Geography* 96(2): 139-151, <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103200>.
10. Cui J. (2021), Building three-dimensional pedestrian networks in cities, *Journal Of Underground Space* 6(2):217-224, <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2020.02.008>.
11. Gaiduchenya A.A. (1983), *Dynamic Architecture (main directions of development, principles, methods)*, Budilnik, Moscow, Russia.
12. Gutnov A.E. (1984), *Evolution of Urban Planning*, Stroyizdat, Moscow, Russia.
13. Ivana Cavar S. (2023), *Smart urban mobility*, Elsevier Science, Ghent, Belgium.
14. Jabbari M., Fonseca F., Smith G., Conticelli E., Tondelli S., Ribeiro P., Ahmadi Z., Papageorgiou G., Ramos R. (2023), The Pedestrian Network Concept: A Systematic Literature Review, *Journal of Urban Mobility* 3(3): 36-48, <https://doi.org/10.1016/j.urbmob.2023.100051>.
15. Jacobs D. (2011), *Death and Life of Big American Cities*, New Publishing House, Moscow, Russia.

16. Jiang F., Ma J., Webster C.J., Chiaradia Alain J.F., Zhou Y., Zhao Z., Zhang X. (2023), Generative urban design: A systematic review on problem formulation, design generation, and decision-making, *Journal of Progress in Planning* 180(1-35):100795, <https://doi.org/10.1016/j.progress.2023.100795>.
17. Jing J., Zlatanova S., Liu H., Aleksandrov M., Zhang K. (2023), A design-support framework to assess urban green spaces for human wellbeing, *Journal of Sustainable Cities a Society* 98:104779, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104779>.
18. Kamalipour H., Dovey K. (2020), Incremental production of urban space: A typology of informal design, *Journal of Habitat International* 98(2):102-133, <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2020.102133>.
19. Levy A. (1999), Urban Morphology and the Problem of the Modern Urban Fabric: Some Questions for Research, *Journal of Urban Morphology* 2(3): 79-85, <https://doi.org/10.51347/jum.v3i2.3885>.
20. Luo H., Chiou B.S. (2021), Framing the Hierarchy of Cultural Tourism Attractiveness of Chinese Historic Districts under the Premise of Landscape Conservation, *Journal of Land* 10(2): 216, <https://doi.org/10.3390/land10020216>.
21. Maretto M. (2014), Sustainable urbanism: The role of urban morphology, *Journal of Urban morphology* 18(2): 163-164, <https://doi.org/10.51347/jum.v18i2.4578>.
22. Morgun N.A., Reznitskaya L.M., Skopintsev A.V. (2013), Architectural scenography of the urban environment - as a design strategy for the reconstruction of the historic city center and a factor in strengthening its tourist image, report at the congress of the inter-district association of the Southern Architectural Society of the Union of Architects of Russia, *Journal of World Applied Sciences* 26(8): 1019-1026.
23. Moughtin C. (2003), *Urban design: street and square*. Third edition, Oxford: Architectural Press, Elsevier, Oxford, UK.
24. Inglis N. C., Vukomanovic J., Costanza J., Singh K. (2022), From viewsheds to viewscales: Trends in landscape visibility and visual quality research, *Journal of Landscape and Urban Planning* 224 (3): 1-12, <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104424>.
25. Oliveira V. (2021), *Morphological Research in Planning, Urban Design and Architecture*, Springer International Publishing, Cham, Switzerland.
26. Potaev G.A. (2014), *Composition in Architecture and Urban Planning*, INFRA-M, Moscow, Russia.
27. Potapova A.V. (2012), Methods of regeneration of historical neighborhoods in modern European practice on the example of Neu-Stadt district (Dresden, Germany), *Journal of AMIT* 2(19): 1-17.
28. Selby C., Robbie N., Mark R. (2019), *Urban mobility design*, Melbourne, VIC, Australia.
29. Setyowati E., Rochma Harani A., Nurul Falah Y. (2013), The Application of Pedestrian Ways Design Concepts as an Implementation of Sustainable Urban Open Spaces, *Journal of Procedia - Social and Behavioral Sciences* 85(1):345-355, <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.364>.
30. Wilshere M. (2022), Design codes, *Journal of Urban Design* 163(2): 7-13.
31. Yang L., Li J., Chang H.-T., Zhao Z., Ma H., Zhou L. (2023), A Generative Urban Space Design Method Based on Shape Grammar and Urban Induction Patterns, *Journal of Land* 12(6): 1-21, <https://doi.org/10.3390/land12061167>.
32. Yang L., Chang H.-T., Ma H., Wang T., Xu J., Chen J. (2023), Applying Evolutionary Computation to Optimize the Design of Urban Blocks, *Journal of Buildings* 13(3):755, <https://doi.org/10.3390/buildings13030755>.

33. Yan W., Meng Q., Yang D., Li M. (2024), Developing a theory of tranquility in urban public open spaces for future designs, *Journal of Applied Acoustics* 217: 109824, <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2023.109824>.

34. Young-Jin A., Juraev Z. (2023), Green spaces in Uzbekistan: Historical heritage and challenges for urban environment, *Journal of Nature-Based Solutions* 4(8):401-413, <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2023.100077>.

35. Yoshiki Y., Perry P.J., Yang. (2020), Urban systems design, Ibaraki, Japan.

35. Zhou M., Wang F. (2024), The driving factors of recreational utilization of ecological space in urban agglomerations: The perspective of urban political ecology, *Journal of Ecological Indicators* 158(2024): 598-604, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111409>.

Information about the authors:

Almukasheva Dina Bukenbaevna – post doctoral student of the Department of Architecture, K. I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan.

Maulenova Gulnara Dzhuparbekovna – professor of the Department of Architecture, Kazakh National Technical University named after K. Satpayev, 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 пост-докторанты, Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, 050013, Алматы, Қазақстан. E-mail: d.almukasheva@cu.edu.kz

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

Назарова Д.А. – Ташкент сәулет-құрылыс университеті, қала құрылысы және ландшафтық сәулет кафедрасы, Ташкент, Өзбекстан.

Альмукашева Д.Б. – пост-докторант кафедрасы «Архитектура», Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева, 050013, г. Алматы, Казахстан.

E-mail: d.almukasheva@cu.edu.kz

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

Назарова Д.А. - профессор кафедрасы градостроительства и ландшафтной архитектуры Ташкентского архитектурно-строительного университета, Ташкент, Узбекистан.



Copyright: © 2024 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 67.07.03

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-149-4-145-161>

Article

Aspects of the historical transformation of the residential environment (based on the example of Astana city)

A. Yessenbayev*^{1,2} , T.T. Musabayev² , A.A. Kornilova¹ , R.U. Chekaeva³ 

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. Urbanized spaces are evolving to meet societal needs, with residential structures being a crucial component of cities, including typological groups, complexes, blocks, and neighborhoods. Changes in the residential environment are a crucial aspect of urban and societal development. Transforming residential environments is directly linked to the dynamic modernization of cultural living standards. Historically established residential areas and buildings are undergoing renovation and adaptation to meet new city demands, involving physical changes, socio-cultural, economic, and environmental aspects.

The proposed article focuses on uncovering the transformation features of a specific period in the historical development of residential spaces. The research is based on the study and analysis of historically established spaces and reviews of theoretical perspectives by domestic and international scholars. It emphasizes the spatiotemporal and socio-environmental aspects of synthesizing transformed spaces.

In this context, the article addresses issues of transforming urban territorial units during the historical formation of spatial changes in the environment over a specific period. The study considers matters within the temporal framework of the late XXth and early XXIst centuries, with the aim of identifying the features of Akmola, the modern city of Astana, and the ways in which residential structures are undergoing transformation.

Keywords: transformation, residential structures, residential environment, adaptation.

Received 27.11.2024. Revised 28.11.2024. Accepted 02.12.2024. Available online 31.12.2024

¹*the corresponding author

Introduction

The transition from social and political structures or state-planned systems to market economy relations leads to large-scale cataclysms. It undoubtedly changes all aspects of social life. During such periods, architecture development gains particular momentum and transforms under the new needs of the state [1].

At the present stage, Astana's rapid growth and construction are taking place not only in vacant areas but also in zones with established historical buildings and suburban regions. The master plan and detailed spatial layout of the district define the city's precise territorial boundaries and development. The master plan is a crucial urban planning document that outlines the architectural and planning structure as well as the growth dynamics of the city. The master plan for Astana focuses on creating a favorable living environment and promoting the city's sustainable development. It also aims to ensure environmental safety, preserve natural and cultural heritage, and effectively organize territorial, social, engineering, and transport infrastructure.

The transformation of the residential structures of the capital was mainly influenced by socio-economic and migration factors, as well as regional and historical aspects. Soviet development was supplemented with new components and a functional goal and transformed into actual needs [2].

Currently, the most relevant for Astana are the processes of intensive urbanization, issues of high density and point construction, improper implementation of the appropriate social, engineering, and transport infrastructure in residential areas, a formal approach to city design codes, and non-compliance with urban planning regulations.

Scientific and technological progress, improving living standards, and modern urban planning and architecture directions require qualitatively different approaches to solve master plans for developing residential structures that synthesize all previous historical experience in city formation.

Literature review

Issues and questions related to domestic housing have always attracted the attention of scientists, sociologists, architects, and other specialists. Numerous studies have been written on this topic, describing the state of housing structures in various regions and cities to varying degrees. This research considers the works of foreign and domestic scholars and the perspectives of professionals, architects, and urban planners.

For instance, the studies of domestic scholars G.S. Abdrassilova and E.T. Danibekova analyze the influence of political and economic changes in Kazakhstan on architecture. In contrast, N.G. Auzhanov discusses Astana's urban planning situation.

The scientific works of A.A. Kornilova and K.I. Samoilov comprehensively describes the stages of domestic architecture, the transformation of settlements, and the development of architectural forms within them.

In their research, a group of domestic scholars, including A.A. Toyshieva, A.D. Toyshieva, S.E. Mamedov, E.P. Harutyunyan, E.N. Khvan, and A. Amanbay, conducted a historical overview of the architecture of residential buildings and the residential environment in the territory of modern Astana during the XX-XXI centuries.

Another group of domestic scholars, including A.A. Kornilova, S.E. Mamedov, G.A. Karabayev, E.M. Khorovetskaya, and I.V. Laptev, studied issues related to comprehensive settlement, the processes of populating settlements, their transformation, urbanization, and the factors influencing the formation of architectural volumes.

The works of N.A. Saprykina, A.V. Ryabushin, A.A. Gaiduchena, and A.I. Vyrlan address the dynamic transformation of urban architecture and residential environments and their elements. The formation of the city's architectural and planning structure and its elements is detailed in the works of V.A. Lavrov, G.M. Lappo, M. Ragon, K. Lynch, B.S. Khorev, L. Tonev, P. Veleev, M.V. Pogudina, B.S. Khromov, and V. Zaslavsky.

In her research, E.R. Pestryakova proposed a logical model for the formation of the process of altering and adapting the internal space of the residential environment. She explored the hypothesis of transforming residential space during design by modifying architectural planning, volumetric-spatial, and compositional solutions.

T.N. Gatin addressed adaptation issues in a dynamically changing environment, emphasizing integration that meets modern requirements. Meanwhile, N.A. Saprykina proposed developing a methodology for shaping the living environment as a self-organizing system.

The work of Raphael Reiter, who applied combinatorics to transforming environments and spaces, deserves special mention. The author developed various options for structures and compositions depending on the type of space.

Thus, the research and works provided in this article differ from previous studies in fragmentation and consistency of analysis of the main stages of the formation and development of the urban residential environment, with the choice of presenting important insights and large-scale results in this direction.

The methodology

This article examines the main stages and the current state of the formation of the living environment in the context of developing the master plan for the city of Astana. The research methodology used by the authors is based on a consistent, comprehensive review of the solution to the problem. In the process, an integrated approach was utilized, which includes several research methods:

1. Method of studying archival data, scientific publications, scientific and educational-methodological literature, and the regulatory and technical framework. Within the framework of the study, theoretical concepts and scientific approaches were identified, and departmental materials (lists of residential buildings, complexes, and neighborhoods) from various historical periods were collected. At the initial stage of the research, materials reflecting the phased history of the development of the city's master plan were gathered;

2. Field research – conducted to identify the features of the architectural-planning and urban development structure transformation of the residential environment by performing fieldwork on residential structures of various typological groups;

3. Statistical and comparative analysis methods. Using official data from open sources, the statistical method allowed for collecting, analyzing, and generalizing data on population size, housing stock, and housing demand for specific periods during the city's development. Comparative analysis enabled the comparison of previous master plans, the identification of key development trends, and the distinction of their similarities and differences;

4. Method of result generalization. Due to the scale of this research, the final stage involved summarizing and clarifying the obtained results.

5. Sociological research method. Seventy participants were interviewed as part of a survey on current issues of urban planning organization and the residential environment in the city. The findings may be utilized to support prospective design methods that reflect people's and local communities' perspectives on future urban planning changes. The results were examined and organized into charts and tables.

Findings/Discussion

Numerous factors influence a settlement's spatial environment, each contributing its components to varying degrees. Nowadays, the issue of a comfortable urban environment has become highly relevant, involving an interdisciplinary approach to research and engaging both urban populations and residents of specific districts.

Amidst progressive urbanization, social destabilization, conflicts in urban planning structures in general, and physical degradation of certain residential formations, there is an increasing need to address comprehensive issues regarding the impact of comfort on the urban population's livelihood at various macro and micro spatial levels.

Given the unchanging evolutionary processes of the residential environment, which continuously acquires new qualities, solutions are required to neutralize and stabilize the creation of a favorable space.

The living environment, which occupies the leading and most significant part of the urban space, is an integral part of a comfortable environment. Numerous factors, including the natural, ecological, and anthropogenic environment, assess the comfort of the living environment. Under unfavorable climatic, ecological, and natural-landscape environments, an artificially created adaptable space emerges to meet human needs.

The residential environment is a system of complex structures and constantly evolving elements (infrastructure, social connections, and communications) that are directly linked to the physical and social space of the territorial unit. In this regard, it is essential to understand and study the residential environment not merely as an integral part of the city but as a living environment influenced by many factors.

Figure 1 illustrates the hierarchical structure of the residential environment, which today comprises components ranging from a simple apartment to the entire city.

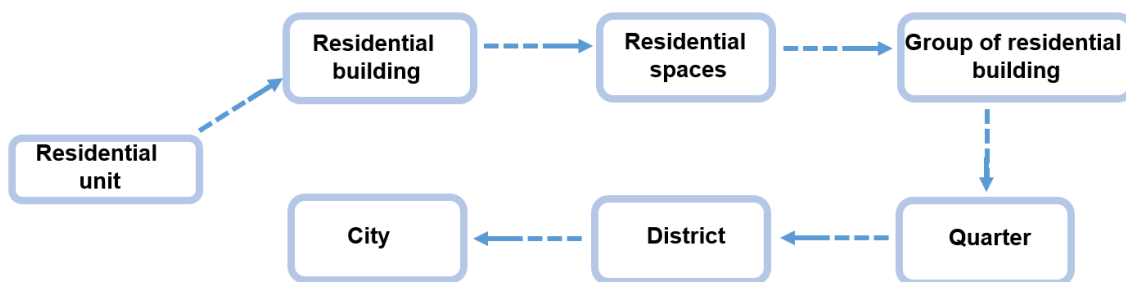


Figure 1. Structure of the residential environment [author's material]

Thus, to systematically study the residential environment, it is necessary to understand its morphological structure. From an urban planning perspective, the residential environment is considered a naturally evolving and investment-attractive space favorable to the self-realization of city residents.

The components of the residential environment being formed today are the most open and adaptable to the needs of all categories of citizens, who are subject to various short-term and rapidly changing trends.

Like any other city, modern Astana is shaped and developed by political, economic, and natural factors. Historical, evolutionary, and natural climatic factors have affected the city's architectural and planning structure, leading to both positive and negative consequences.

The development and transformative processes of the city's urban planning structure predetermine the prospective development, subsequent formation of reserve territories, and future construction. Astana's master plan has undergone several stages of competition, conceptual sketching, and expert evaluation involving domestic and international urban planners and architects.

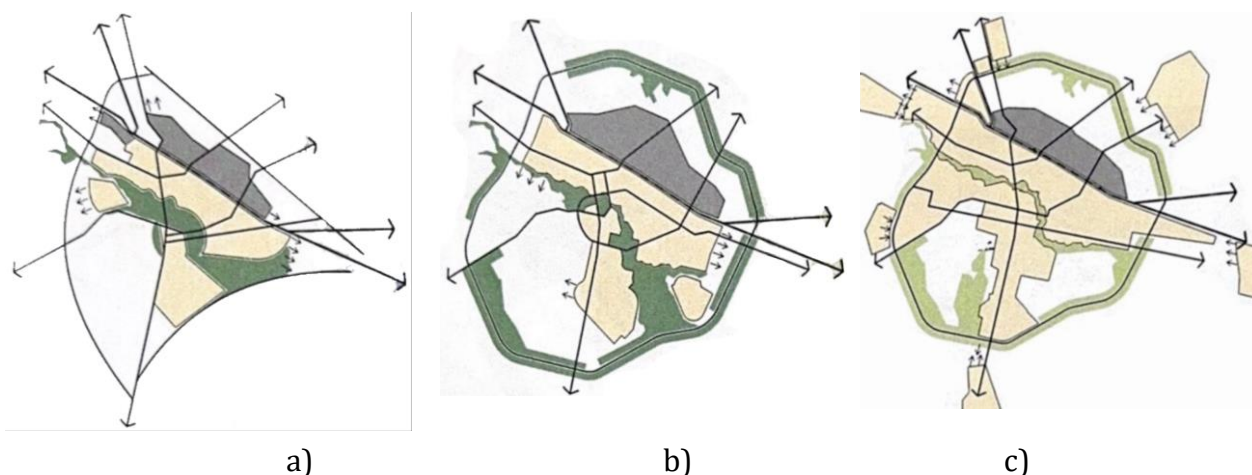


Figure 2. Master plans of Astana city [archival material]:

- a) 1995, concept by K. Montakhaev, developed by «Ak-Orda» LLP;
- b) 2000, developed by Saudi Binladin Group;
- c) 2010, adjustment of the concept by Kisho Kurokawa.

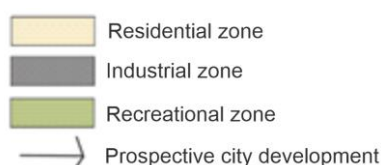


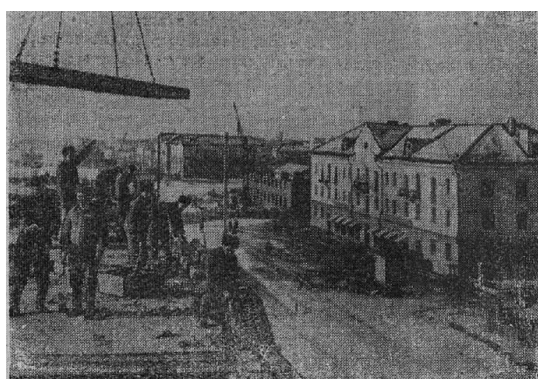
Figure 2 illustrates the critical master plans of Astana city, clearly showing the dynamics of the development of the residential and prospective zones.

The city's natural growth and population expansion significantly influence its morphological structure. The rapid population increase and the need to create favorable living conditions, along with Astana's status as the capital of Kazakhstan, necessitate a revision of the architectural and planning solutions of the master plan and the principles for forming residential structures as a whole.

Astana's historically developed residential environment was analyzed and divided into critical stages during the research.

The city in the 1950s-1970s

The period of virgin and fallow land development was marked by a significant influx of working populations that needed to be provided with housing as soon as possible. As a result, the city of Tselinograd began constructing new types of five-story residential buildings, which were innovative for that time. Later, between 1967 and 1970, the first nine-story and twelve-story buildings were built based on standard projects of the Soviet period. These new residential buildings gradually replaced the barrack-style housing, creating compact courtyards and landscaped areas. In 1962, residential blocks with 115,000 square meters were commissioned. The city's population grew dynamically, reaching 181,000 by 1970 and approximately 233,000 by 1980. New neighborhoods, such as Molodyozhny, began to form on the city's vacant lands. The construction of civil buildings continued intensively, primarily on the right bank of the river. The left bank was reserved for recreational activities featuring country cooperatives, beaches, and more. At that time, the residential environment only met the primary and modest needs of the population. Figure 3 shows an archival photograph of the construction of a residential building on N. Monina Street and its current state.



a)



b)

Figure 3.

a) construction of residential buildings on N. Monin street (Yessenberlin street), 1958.

b) the current state of the building, 2024 [author's material].

Cities in the 1980s-1990s

According to the general plan developed by SDI «Kazgiprograd» and approved in 1987, construction in Akmola continued within the limits of the right bank of the Ishim River. The general plan envisioned the city's development along the right-bank course of the river. Between 1986 and 1990, the volume of housing construction significantly increased, as did the amount of individual housing with corresponding engineering and transport infrastructure. By 1988, the city's population had reached 286,300 people.

Kazakhstan's independence and the government's decision to relocate the capital to Akmola significantly impacted the city's subsequent development and transformation. The adopted Law «On Special Economic Zones in the Republic of Kazakhstan» aimed to attract and develop investments from foreign companies in the territory of the future capital for conducting negotiations and business andal. This required well-developed infrastructure for conducting negotiations and business and for the temporary or permanent residence of guests and foreign workers. The city required radical changes in its functional-planning, spatial-territorial structures, and economic, social, and cultural processes.

As shown in Figures 4 and 5, by 1997, Akmola was a small city with a population of 287,000. It had underdeveloped cultural, domestic, and service systems, simple Soviet-era architecture, and predominantly monofunctional public buildings. The city's outskirts were mainly populated by country settlements, garage cooperatives, small worker villages, and vacant lands [4].



Figure 4. The Ishim River embankment, Akmola city [from the authors' archive]



Figure 5. «Hannover» restaurant, Akmola city, 1990 [from the authors' archive]

The city's new status necessitated significant transformations in its geopolitical, socio-economic, and administrative-management structures and its historically established urban fabric. This included the creation of new districts and blocks, the development of the street-road network, and the establishment of cultural and recreational centers [5]. Architects of that period faced the task of developing a concept for a comfortable city that would meet the requirements of the XXI-century capital.

Attracting investments, fostering small and medium-sized businesses in the capital, and preparing spaces for them were among the top priorities. However, at that time, construction focused on strategically important facilities. As shown in Figure 6, one solution was to transform the ground floors of residential buildings into non-residential spaces [6]. This approach proved

relevant and later became standard practice during the design phase, with all new residential buildings and complexes being planned with developed commercial areas on their lower levels.

Figure 7 illustrates how transformations influenced the external architectural appearance during subsequent redevelopment. Existing Soviet-era building facades were repainted and decorated to align with the city's new capital status [7].



Figure 6. Soviet-era residential building on Satpayev Street, Astana, Kazakhstan [author's material]



Figure 7. Soviet-era residential building (Series 335) on Respublika Avenue, Astana, Kazakhstan [author's material]

The Beginning of the 21st Century

The rapid housing development in Astana, starting in the 2000s, brought about various issues. These included spot and high-density construction, a lack of adequate social infrastructure, forecasting errors in the serviced population's size, insufficient local recreational areas, transport accessibility challenges, neglect of the anthropogenic landscape, weak landscape organization, and limited greening. Actual growth rates outpaced forecasts, and the city needed to prepare for such developments.

The relocation of the capital significantly impacted internal and external migration. Residents from nearby settlements and small to medium-sized cities began migrating en masse to Astana for better living conditions. Labor migrants, young families, students, and foreign guests required permanent and temporary housing, with demand increasing daily. The housing issue had social causes and remains one of the city's pressing problems today.

Promising areas of the city were actively developed with new residential complexes. Seasonal (temporary) housing was increasingly converted into permanent residences, and the land use designation of plots was changed. As a result, summer garden houses in dacha zones were more frequently used as temporary or permanent housing for those in need. Figure 8 shows how some of these houses retained their original architectural appearance. They were retrofitted and transformed into stationary housing.

Figure 9 illustrates the construction of full-fledged one – or two-story residential houses in some areas. These houses were often accompanied by additional spaces for individual entrepreneurial activities, such as small shops, hair salons, tailoring ateliers, workshops, service stations, and others. These facilities helped address the shortage of social infrastructure in the newly developed areas.



Figure 8. Garden houses of the «Aviator» country house community.
Astana, Kazakhstan [author's material]



Figure 9. Modern cottages in the structure of the «Aviator» country house community.
Astana, Kazakhstan [author's material]

Currently, such a situation is observed not only in county house communities but also in residential areas on the outskirts of the city and in the historically established estate-type architecture of the central districts. These areas, which were chaotically formed, insufficiently organized, or completely neglected by local authorities, exhibited high social tension. The population lacked access to basic amenities for comfortable living and socio-cultural processes, such as recreational areas, equipped playgrounds, proper landscaping of courtyards and streets, lighting, and convenient pedestrian and transport paths.

The old houses on the right bank near the trade houses in the Artyom, Alem, and Shapagat districts (formerly the TselinSelymash and Zavodskoy areas) had long been converted into boutiques, shops, and retail stores. The current disorder and illegal trading in the area date back to the late 1990s and early 2000s, when the central city market existed at the location of these trade houses.

According to the city development master plan, most of these residential areas are set to be demolished, with multi-story residential complexes and social and cultural facilities being built in their place.

Transforming the built environment involves adapting it to the contemporary needs of human life [8]. Housing must constantly align with consumer demands and be flexible enough to respond to them [9].

The study of transforming environments is a complex issue encompassing social, demographic, architectural-typological, engineering-technical, and aesthetic aspects. Comprehensive research requires extensive analysis and predictions for further development [10].

It is important to note that the living environment results from the long historical development of a family and its housing. It is shaped by society's social, economic, historical, and cultural activities and continues to evolve [11].

Housing conditions should correspond to the individual characteristics of the consumer, specific order, and lifestyle [12]. To create such an environment, it is necessary to study human needs, interests, and desires and adapt them to the unified context of home life [13].

Analyzing the principle of changing historically established and existing realities, the main structural elements of human life influencing the architectural-planning organization of housing were identified, including:

- 1) The age of family members, their level of development, and the influence of traditions;
- 2) The standard of living and quality of life;
- 3) The way of thinking and character of individuals;
- 4) The methods of household management (regime and daily routine, specific household and domestic processes).

Universal architectural-planning and technological solutions offer multiple options for the use of spaces [14].

A universal functional space allows for the integration of residential and non-residential areas. The transforming space becomes an infinite environment:

- Transforming into a leisure area;
- Transforming into a communication area;
- Transforming into a work area;
- Transforming into a learning area.

The built environment's dynamic adaptation to changing reality and societal development needs determines the necessity of developing and implementing a fundamentally new approach to creating architectural objects by utilizing their intense characteristics of formation. Organizing an architecturally adapted space can be made possible by transferring modern concepts [15].

Current state and prognostic trends in the development of the living environment

Today, global practices in studying the issue of comfortable living environments prove that urban residential areas are a resource for implementing new commercial and construction projects and a link between newly developed and historically established built-up areas. The practices of previous years, when residential neighborhoods and districts were designed with centralized systems, created living environments with acceptable limits in content and spatial organization. Residents were passive participants, which is no longer relevant or practical. Modern realities and the latest approaches require active social involvement between the

«provider» and the consumer, conducting comprehensive pre-design, social, and research work, detailed analysis, and consideration of the population's needs to form the most beneficial model for future or reconstructed spaces.

Currently, the master plan concept of «Astana - comfortable city» is being successfully implemented in Astana at all macro and micro spatial levels of the capital. The main goals of the concept are to create a city for people, organize the transport infrastructure, redevelop areas, improve environmental sustainability and energy efficiency, and expand biodiversity in local zones of the city. Transformation strategies for residential areas mainly focus on improving public spaces, equipping playgrounds and sports areas with diverse equipment for all age groups, landscaping, creating small recreational islands in tight conditions, improving pedestrian and transport accessibility, and developing social infrastructure with a focus on ecological sustainability. All of these aspects should interact and integrate with the urban scale, form a program of viability, and align with sustainable development goals. The current concept has successfully implemented design solutions for improving areas and creating recreational zones in local sites with the highest demand.

During the research process, a socio-demographic analysis of the population was conducted, allowing for the identification of preferences from respondents across different city neighborhoods. The survey included questions related to the qualitative spatial and environmental content, urban landscaping, and the assessment of the level of comfortable living in the surveyed areas and the city. The empirical data gathered was analyzed, processed, and presented in the diagram shown in Figure 10.

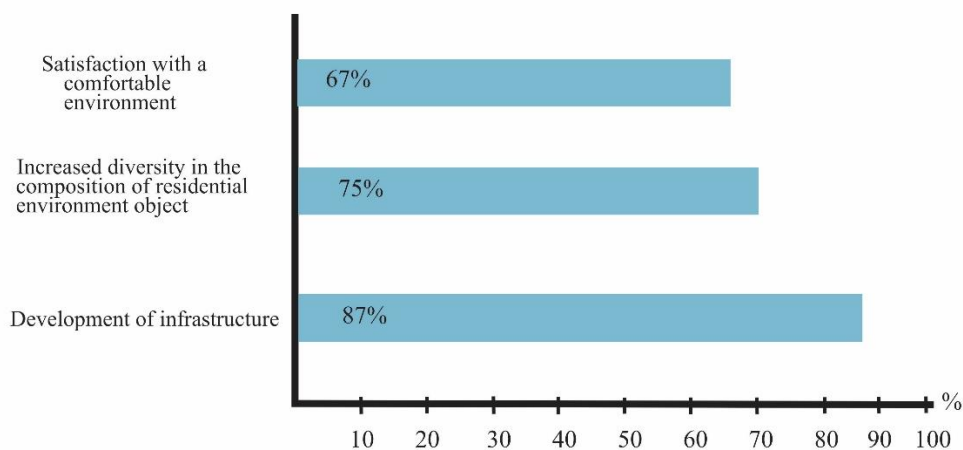


Figure 10. Results of the sociological survey

One hundred forty-seven respondents from local areas of the city were interviewed based on the social survey. The results were analyzed, and the conclusions drawn from them influenced the research's outcome.

The result of the present study is the conceptual-theoretical model of the formation of the residential environment, as shown in Figure 11.

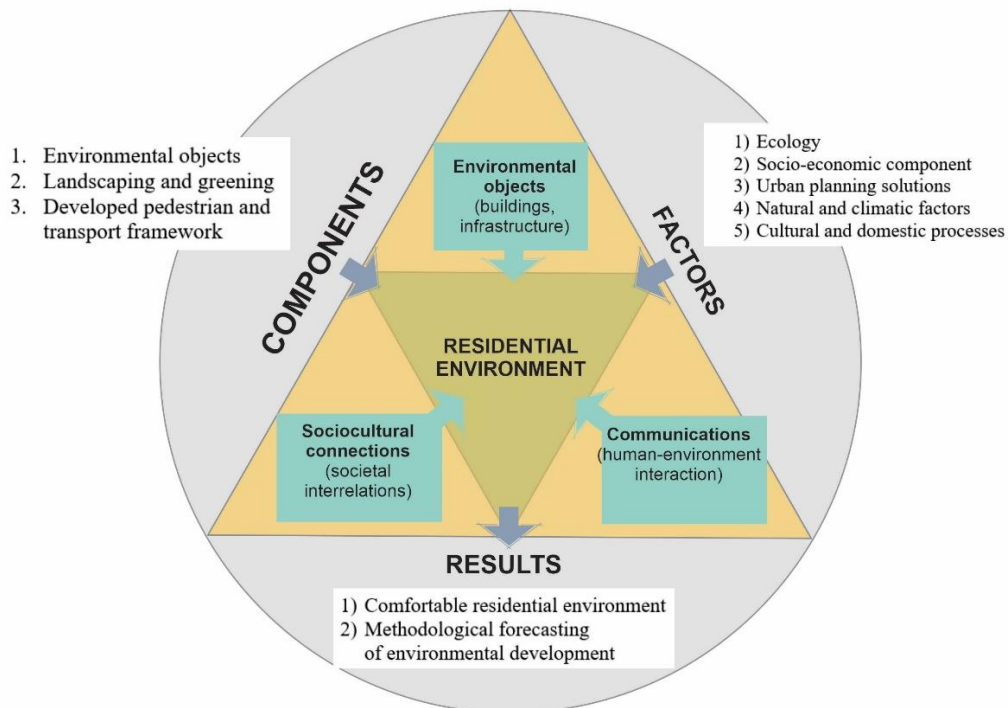


Figure 11. Model of residential environment formation

Conclusion

The analysis conducted allowed for the identification of the main stages of the transformation of the residential environment in the studied territorial geospatial area, highlighting its most relevant development and formation issues, determining further structuring, and establishing the following:

1. Three main components were identified as forming a comfortable living environment: environmental objects (buildings, infrastructure), socio-cultural connections (interaction of society), and communications (interaction of people with the environment). The combined integrated work of these components results in a high-quality organization of the living environment and comfortable living in it;

2. The residential environment has a decisive local influence on the subjects (people) and the process of their daily lives;

3. The residential environment is a self-developing system. The organization of the modern living environment is a complex self-forming system;

4. The process of creating architectural solutions during the design of residential buildings cannot be considered without determining the favorable living conditions for a person in the housing environment;

5. At the architectural-planning level, using the above principles of transforming the residential environment allows for the most effective socio-economic solutions to be made during the design process;

6. Transformation and adaptation are closely connected to ecological, socio-demographic, psychological, and economic aspects, which, in turn, form architectural-planning solutions that allow residential structures to be considered at a high scientific level;

7. Transformed residential buildings and all their functional components, such as equipment, interior and exterior volumes, environmental conditions, and people's changing needs, can change year after year.

Acknowledgments and conflict of interest

The research was conducted using private funding sources.

The authors declare that there is no conflict of interest.

The contribution of the authors

Yessenbayev A.M. – data collection and analysis, development of the research concept and methodology, writing of the article.

Musabayev T.T. – critical analysis of the work, editing, and final approval of the publication version.

Kornilova A.A. – critical analysis of the work, editing.

Chekaeva R.U. – generation of the research idea, editing the work.

References

1. Abdrasilova G., Danibekova E. (2021). The transformation of modern architecture in Kazakhstan: from soviet “internationalism” to a post-soviet understanding of the regional identity. *Spatium* 46, 73-80. DOI: <https://doi.org/10.2298/SPAT2146073A>

2. Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan dated August 15, 2001 №1064 «On the Master Plan of Astana» [Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazahstan ot 15 avgusta 2001 goda №1064 «O general'nom plane goroda Astany»] (In Russ.). [PDF file]. Retrieved from: <https://adilet.zan.kz>

3. Auzhanov N.G. (2000). Astana – a leap into the XXI century. Urban planning aspects of development [Astana – pryzhok v XXI vek. Gradostroitel'nye aspekty razvitiya]. (In Russ.). [PDF file]. Retrieved from: <https://www.ecopolis.kz>

4. Kornilova A.A. (2003). Theoretical foundations of the transformation of the architectural and planning structure of villages in Northern Kazakhstan [Teoreticheskie osnovy transformacii arhitekturno- planirovochnoj struktury sel Severnogo Kazahstana]. Dissertation for the degree of Doctor of Architecture. Astana. (In Russ.).

5. Samoilov K. I. (2004) Architecture of Kazakhstan of the XX (development of architectural and artistic forms). [Arhitektura Kazahstana XX veka (razvitie arhitekturno-hudozhestvennyh form)]. (In Russ.). [PDF file]. Retrieved from: <https://tehne.com>

6. Toishiyeva A. A., Toishiyeva A. D., Mamedov S. E. O., Harutyunyan E. P., Khvan Y. N., Amanbay A. (2023). Development of the Architecture of Residential Buildings from the Beginning of XX to XXI Century (By the Example of Astana). *Civil Engineering and Architecture*, 11(3), 1220 - 1233. <https://doi.org/10.13189/cea.2023.110308>

7. Kornilova A.A., Mamedov S.E.O., Karabayev G.A., Khorovetskaya Y.M., Lapteva I.V. (2022). Identification of Regional Factors Affecting Management of Territories: Formation of Residence and Social Infrastructure System in Urban and Rural Settlements in Kazakhstan Journal of Environmental Management and Tourism, 13(8), 2248–2254 [https://doi.org/10.14505/jemt.13.8\(64\).17](https://doi.org/10.14505/jemt.13.8(64).17)
8. Saprykina N.A. (2005). Fundamentals of dynamic shaping in architecture [Osnovy dinamicheskogo formoobrazovaniya v arhitekture]. Moscow: "Architecture-S". (In Russ.).
9. Ryabushin A.V. (1976). Development of the residential environment. Problems, patterns, trends [Razvitie zhiloy sredy. Problemy, zakonomernosti, tendencii]. Moscow.: Stroyizdat.
10. Pestryakova E.R. (2022). Principles of formation of architectural and planning organization of social residential buildings taking into account transformation aspect/ 12.2. 113-119. <https://doi.org/10.17673/10.17673/vestnik.2022.02.15>
11. Gaiduchena A.A. (1982). Dynamic architecture: The main directions of development, principles, methods. Kiev: Budivelnik [Dinamicheskaya arhitektura: Osnovnye napravleniya razvitiya, principy, metody]. (In Russ.).
12. Vyrlan A.I. (2016). Transformation of elements of the modern urban environment [Transformacii elementov sovremennoj gorodskoj sredy]. (In Russ.). URL: <https://book.uraic.ru>
13. Gatin T.N. (2020). Trends in the formation of transformations in the architecture of public buildings [Tendencii formirovaniya transformacij v arhitekture obshchestvennyh zdaniy]. (In Russ.). Noema 2(5). URL: <https://cyberleninka.ru>
14. Raphael Reuter. (2020) Space-saving techniques by the use of transformable architecture. [In Russ.]. URL: <https://repository.tudelft.nl>
15. Saprykina N.A. (2015). Features of habitat formation in the context of dynamic adaptation of architectural space. Volga Scientific Bulletin 1 (41). [Osobennosti formirovaniya sredy obitaniya v kontekste dinamicheskoy adaptacii arhitekturnogo prostranstva. Privolzhskij nauchnyj vestnik]. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru>

А.М. Есенбаев^{*1,2}, Т.Т. Мусабаев², А.А. Корнилова¹, Р.У. Чекаева³

¹НАО «КАТИУ им. С.Сейфуллина», Астана, Казахстан

²РГП «Госградкадастр», Астана, Казахстан

³НАО «ЕНУ им. Л.Н. Гумилева» Астана, Казахстан

Исторические аспекты трансформации жилой среды (на примере г. Астана)

Аннотация. В настоящее время урбанизированные пространства активно растут и постоянно развиваются в соответствии с меняющимися потребностями общества. Важной частью любого города являются жилые образования, типологические группы жилых домов, жилые комплексы, кварталы и микрорайоны. Изменение жилищной среды является важным аспектом развития городов и общества в целом. Процессы трансформации жилой среды напрямую связаны с динамично модернизированной культурой жизни. Геопропространственное и цифровое развитие города влияет на существующий рост, изменяет его и придает ему новый статус. Сегодня исторически сложившиеся жилые районы и здания нуждаются в реконструкции и обновлении,

чтобы адаптироваться к новым требованиям и потребностям жителей и гостей города. Такая трансформация включает не только физические изменения, но и социокультурные, экономические и экологические аспекты.

Представленная статья направлена на раскрытие особенностей трансформации определенного этапа исторического становления жилого пространства. Основой исследования является изучение и анализ исторически сложившегося пространства, а также обзор материалов, созданных на основе теоретических подходов отечественных и зарубежных ученых, изучавших пространственно-временной и социально-средовой аспект в синтезе трансформируемого пространства.

В связи с этим в ходе исторического формирования пространственных изменений окружающей среды за определенный период времени затрагиваются вопросы трансформации конкретной градостроительной территориальной единицы. Рассматриваемые в работе вопросы охватывают временные границы конца XX-начала XXI веков и направлены на выявление особенностей Акмолинской, современной Астаны и трансформирующихся жилых структур.

Ключевые слова: трансформация, жилые образования, жилая среда, адаптация.

А.М. Есенбаев^{*1,2}, Т.Т. Мусабиев², А.А. Корнилова¹, Р.У. Чекаева³

¹«С.Сейфуллин ат. ҚАТЗУ» КеАҚ, Астана, Қазақстан

²«Мемқалақұрылыскадастры» РМК, Астана, Қазақстан

³«Л.Н.Гумилев ат. Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан

Тұрғын ортаның тарихи трансформациялау аспектілері (Астана қ. мысалы негізінде)

Аңдатпа. Қазіргі уақытта урбанизацияланған кеңістіктер белсенді түрде өсіп, қоғамның өзгеретін қажеттіліктеріне сәйкес дамуда. Кез келген қаланың маңызды бөлігі – тұрғын үй құрылымдары, тұрғын үйлердің типологиялық топтары, тұрғын үй кешендері, кварталдар мен шағын аудандар болып табылады. Тұрғын үй ортасының өзгеруі қалалар мен жалпы қоғам дамуының маңызды аспектісі болып табылады. Тұрғын ортаны трансформациялау процестері динамикалық модернизацияланған өмір мәдениетімен тікелей байланысты. Қаланың геокеңістіктік және сандық дамуы қалыптасқан өсуіне әсер етеді, оны өзгертеді және оған жаңа мәртебе береді. Бүгінгі күні тарихи қалыптасқан тұрғын аудандар мен ғимараттар қала тұрғындары мен қонақтарының жаңа талаптары мен қажеттіліктеріне бейімделу үшін қайта құру мен жаңартуды қажет етеді. Мұндай трансформация тек физикалық өзгерістерді ғана емес, сонымен қатар әлеуметтік-мәдени, экономикалық және экологиялық аспектілерді де қамтиды.

Ұсынылған мақала тұрғын үй кеңістігінің тарихи қалыптасуының белгілі бір кезеңінің трансформация ерекшеліктерін ашуға бағытталған. Зерттеудің негізі тарихи қалыптасқан кеңістікті зерттеу және талдау, сондай-ақ трансформацияланатын кеңістік синтезіндегі кеңістікті-уақыттық және әлеуметтік-орта аспектіні зерттеген отандық және шетелдік ғалымдардың теориялық көзқарастары негізінде жасалған материалдарға шолу болып табылады.

Осыған байланысты белгілі бір уақыт кезеңіндегі қоршаған ортаның кеңістіктік өзгерісін тарихи қалыптастыру барысында нақты қала құрылысы аумақтық бірлігін трансформациялау мәселелері қозғалады. Жұмыста қарастырылған мәселелер XX ғасырдың аяғы мен XXI ғасырдың

басындағы уақытша шекараларды қамтиды және Ақмола, қазіргі Астана трансформацияланатын тұрғын құрылымдарының ерекшеліктерін анықтауға бағытталған.

Түйін сөздер: трансформация, тұрғын үй құрылымдары, тұрғын орта, бейімделу.

References

1. Abdrasilova G., Danibekova E. (2021). The transformation of modern architecture in Kazakhstan: from soviet “internationalism” to a post-soviet understanding of the regional identity. *Spatium* 46, 73-80. DOI: <https://doi.org/10.2298/SPAT2146073A>
2. Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan dated August 15, 2001 №1064 «On the Master Plan of Astana» [Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazahstan ot 15 avgusta 2001 goda №1064 «O general'nom plane goroda Astany»] (In Russ.). [PDF file]. Retrieved from: <https://adilet.zan.kz>
3. Auzhanov N.G. (2000). Astana – a leap into the XXI century. Urban planning aspects of development [Astana – pryzhok v XXI vek. Gradostroitel'nye aspekty razvitiya]. (In Russ.). [PDF file]. Retrieved from: <https://www.ecopolis.kz>
4. Kornilova A.A. (2003). Theoretical foundations of the transformation of the architectural and planning structure of villages in Northern Kazakhstan [Teoreticheskie osnovy transformacii arhitekturno- planirovochnoj struktury sel Severnogo Kazahstana]. Dissertation for the degree of Doctor of Architecture. Astana. (In Russ.).
5. Samoilov K I. (2004) Architecture of Kazakhstan of the XX (development of architectural and artistic forms). [Arhitektura Kazahstana XX veka (razvitie arhitekturno-hudozhestvennyh form)]. (In Russ.). [PDF file]. Retrieved from: <https://tehne.com>
6. Toishiyeva A.A., Toishiyeva A. D., Mamedov S. E. O., Harutyunyan E. P., Khvan Y. N., Amanbay A. (2023). Development of the Architecture of Residential Buildings from the Beginning of XX to XXI Century (By the Example of Astana). *Civil Engineering and Architecture*, 11(3), 1220 - 1233. <https://doi.org/10.13189/cea.2023.110308>
7. Kornilova A.A., Mamedov S.E.O., Karabayev G.A., Khorovetskaya Y.M., Lapteva I.V. (2022). Identification of Regional Factors Affecting Management of Territories: Formation of Residence and Social Infrastructure System in Urban and Rural Settlements in Kazakhstan *Journal of Environmental Management and Tourism*, 13(8), 2248–2254 [https://doi.org/10.14505/jemt.13.8\(64\).17](https://doi.org/10.14505/jemt.13.8(64).17)
8. Saprykina N.A. (2005). Fundamentals of dynamic shaping in architecture [Osnovy dinamicheskogo formoobrazovaniya v arhitekture]. Moscow: "Architecture-S". (In Russ.).
9. Ryabushin A.V. (1976). Development of the residential environment. Problems, patterns, trends [Razvitie zhiloy sredy. Problemy, zakonornosti, tendencii]. Moscow.: Stroyizdat.
10. Pestryakova E.R. (2022). Principles of formation of architectural and planning organization of social residential buildings taking into account transformation aspect/ 12.2. 113-119. <https://doi.org/10.17673/10.17673/vestnik.2022.02.15>
11. Gaiduchenya A.A. (1982). Dynamic architecture: The main directions of development, principles, methods. Kiev: Budivel'nik [Dinamicheskaya arhitektura: Osnovnye napravleniya razvitiya, principy, metody]. (In Russ.).
12. Vyrlan A.I. (2016). Transformation of elements of the modern urban environment [Transformacii elementov sovremennoj gorodskoj sredy]. (In Russ.). URL: <https://book.uraic.ru>
13. Gatin T.N. (2020). Trends in the formation of transformations in the architecture of public buildings [Tendencii formirovaniya transformacij v arhitekture obshchestvennyh zdaniy]. (In Russ.). *Noema* 2(5). URL: <https://cyberleninka.ru>

14. Raphael Reuter. (2020) Space-saving techniques by the use of transformable architecture. [In Russ.]. URL: <https://repository.tudelft.nl>

15. Saprykina N.A. (2015). Features of habitat formation in the context of dynamic adaptation of architectural space. Volga Scientific Bulletin 1 (41). [Osobennosti formirovaniya sredy obitaniya v kontekste dinamicheskoy adaptacii arhitekturnogo prostranstva. Privolzhskij nauchnyj vestnik]. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru>

Information about the authors:

Yessenbayev A.M. – corresponding author, PhD candidate, «Kazakh Agrotechnical research university named after S. Seifullin» NSC, Beibitshilik 73 str., 010000, Astana, Kazakhstan

Mussabayev T.T. – doctor of technical sciences, Professor, Academician of the National Academy of Engineering RK, Mangilik El ave. 8, 010000, Astana, Kazakhstan

Kornilova A.A. – Doctor of Architecture, Professor, «Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin» NSC, Beibitshilik 73 str., 010000, Astana, Kazakhstan

Chekaeva R.U. – candidate of architecture, Professor, Department Architecture, «L.N. Gumilyov Eurasian National University» NSC, Kazhukhan str. 13, 010000, Astana, Kazakhstan

Есенбаев А.М. – хат-хабар авторы, докторант, «С.Сейфуллин атындағы ҚАТЗУ» КеАҚ, Бейбітшілік 73 көшесі, 010000, Астана, Қазақстан

Мусабаев Т.Т. – техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР Ұлттық инженерлік академия академигі, Мәңгілік Ел даңғылы 8, 010000, Астана, Қазақстан

Корнилова А.А. – сәулет докторы, профессор, «С.Сейфуллин атындағы ҚАТЗУ» КеАҚ, Бейбітшілік 73 көшесі, 010000, Астана, Қазақстан

Чекаева Р.У. – сәулет кандидаты, «Сәулет» кафедрасының профессоры, «Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ» КеАҚ, Қажымұқан 13 көшесі, 010000, Астана, Қазақстан

Есенбаев А.М. – автор для корреспонденции, докторант, НАО «КАТИУ имени С. Сейфуллина», ул. Бейбитшилик 73, 010000, Астана, Казахстан

Мусабаев Т.Т. – доктор технических наук, профессор, академик Национальной инженерной академии РК, пр.Мангилик Ел 8, 010000, Астана, Казахстан

Корнилова А.А. – доктор архитектуры, профессор, НАО «КАТИУ имени С. Сейфуллина», ул. Бейбитшилик 73, 010000, Астана, Казахстан

Чекаева Р.У. – кандидат архитектуры, профессор кафедры «Архитектура», НАО «ЕНУ имени Л.Н. Гумилева», ул. Кажымукана 13, 010000, Астана, Казахстан



Copyright: © 2024 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 73.01.11

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-149-4-162-187>

Article

Digital transformation of the transport industry: analysis of opportunities and risks

A. Muhametzhanova¹, A. Zhandarbekova*², Dariusz Sala³,
Bekzhanova Saule⁴, Timur Sultanov¹, Nadezhda Devetiyarova⁶

^{1,5}L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

²S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Kazakhstan

³AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland

⁴Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

⁵International University of transport and humanities, Almaty, Kazakhstan

(E-mail address: *asselzhandarbekova@gmail.com)

Abstract. In the article, by analyzing the current state of the digitalization process of the transport industry and assessing the results of a survey of experts, the degree of impact of artificial intelligence on the business processes of companies is revealed.

The study of institutional and technological changes in the field of international transport corridors is reflected in this article. Information on the state and main trends of digital transformation of corridors is systematized, their ecosystem is analyzed, stakeholders and drivers of digitalization of the transport industry are identified. In this regard, the proper implementation of UN standards for the unification of infrastructure, digitalization of business processes to simplify transportation and transit requires the active participation of subjects of transport corridors.

The questionnaire developed by the authors of this article to survey the degree of impact of artificial intelligence on the operating technology of transport companies made it possible to assess not only the benefits of introducing artificial intelligence, but also possible risks.

Using SWOT analysis, the consequences of introducing artificial intelligence at both the micro-logistics and macro-logistics levels of companies' functioning were studied. Based on the studied data, the main directions of action that transport market entities should follow to increase the level of digitalization of the industry have been identified.

Keywords: transport, transport industry, business processes, artificial intelligence, expert assessment, digitalization, transformation, multimodal digital transport corridors

Received 29.10.2024. Revised 06.11.2024. Accepted 25.11.2024. Available online 31.12.2024

¹*the corresponding author

Introduction

The rapid pace of digitalization development is opening up unprecedented opportunities to improve the efficiency of various industries and enterprises, including transport. Digital transformation of industries and the development of an innovative economy are integral components of achieving global competitiveness [1]. Digital transformation in the transport industry is aimed at improving the efficiency, safety, and convenience of transport systems and is trending towards growth [2-22]. So, in January 2024, at the next meeting of the World Economic Forum in Davos, the importance of digitalization was discussed. Almost 40% of the world's jobs are affected by artificial intelligence (AI), and in advanced economies, this figure rises to 60% [23].

In 2020, eight international organizations of the UN system, including the UN regional commissions – UNECE, UNESCAP, UNECA, UNECLAC, UNESCWA, as well as UNCTAD, ICAO and IMO, signed a joint statement “The contribution of international trade and supply chains to sustainable social economic recovery during the COVID-19 pandemic”, which states that “... in an unprecedented situation where physical contact is not recommended, automation and digitalization are key factors contributing to the facilitation of trade and transport procedures” [24]. Therefore, international organizations of the UN system support the further digitalization of trade and customs procedures using global UN standards to ensure the fast and secure exchange of data and information on cargo and vehicles. Which corresponds to UN legal documents on transport, in particular, on the facilitation of transport and paperless trade [24].

Taking into account the above, the introduction of digital transport, transit and customs tools, especially along multimodal transport corridors, is the call of the time. Thus, the Joint Stock Company “National Company “Kazakhstan Temir Zholy” (JSC “NC “KTZ”), which is the backbone national transport company of Kazakhstan, is a provider of transport infrastructure services, including freight and passenger transportation, has been implementing 60 different projects and activities since 2019 within the modernization program “Digital Transformation” [25]. Although today NC KTZ JSC has more than 200 information systems, including the key ones: an automated system for operational transportation management, an automated station management system, an automated system for managing a group of stations united on a territorial basis, an automated system for commercial inspection of trains and wagons, automated control system for stations of the backbone network of NC KTZ JSC, automated workstation of an agent for cargo and commercial work, automated system for cargo and commercial work, etc. The general state of information technology (IT) is characterized by a low level of integration and coordination of information systems and databases, a high level of wear and tear of software and hardware infrastructure, the inability to collect reliable and complete data and analyze it, and long response times to business needs to implement the necessary changes (time to market).

An analysis of the systemic problems of the IT landscape of NC KTZ JSC (Company) shows that the digital core of the Company (a Set of high-quality key IT services and consistent data that ensures the continuity and efficiency of the Company's business processes) is outdated, which in turn is a barrier to industry development. In addition, the business processes themselves are being optimized; new participants in the transportation process have emerged,

including private carriers (passenger and cargo). There is a digital information interaction with stakeholders (other railway administrations, railway clients, government agencies, etc.), which in turn makes it possible to move to organizing transportation using paperless technology, supporting cooperation and healthy competition between railway transportation entities, and implementing a new project operating model of the Company, making management decisions based on prompt and reliable data.

The transition to digital multimodal transport corridors is becoming the key to creating an effective system of transport and economic relations and integration into world markets for landlocked and transit countries. The regional approach makes it possible to realize the benefits of digitalization for transport and trade, and quite quickly, giving impetus to business development and creating the prerequisites for attracting transit container flows to transport communications of the countries of the region.

There is a clear need for digital transformation in the operation of multimodal transport corridors, which should be carried out based on advanced technological developments and standards in close cooperation with the business community representing trade, IT and the transport sector. One of the striking examples of the implementation of AI is the project Digital Transport Corridors of the Eurasian Economic Union (DTC EAEU) [26].

Important indicators in the development of international transportation are ensuring high-speed standards for trains, quality of service, accelerated processing at the border and joint work with logistics platforms and transport companies in China and Europe. In 2023, the route speed of container trains in transit traffic in the direction of China - Europe was 775 km per day, the volume of container traffic was 20.5 thousand tons [27].

The above figure is only part of the data confirming the rapid growth of transport flows across Kazakhstan and the associated infrastructure. Therefore, Kazakhstan's transition to digital multimodal transport corridors in the third decade of the XXI (21st) century has become the key to creating an effective system of transport and economic relations and integration into world markets for landlocked and transit countries [35].

Within the framework of the EAEU, a clear action plan has been developed to create a system of digital transport corridors of the EAEU (hereinafter referred to as the DTC Plan). The DTC showcase project involves the creation of a digital infrastructure and the identification of technical solutions for the implementation of all DTC services [26]. This project is being implemented on the territory of all EAEU member states on the main routes of international transport corridors selected for services, taking into account the recommendations of the Board of the EEC Commission, including the railway route from the border of the Republic of Kazakhstan with the PRC through the territories of the Russian Federation to the western border of the Republic of Belarus with the Republic of Poland.

Thus, digital transformation has a significant impact on the development of such an important sector of the economy as the transport industry. Where all the main economic trends can be traced, and basic digital technologies are already used. At the same time, there are certain obstacles to the effective development of digital services. For example, there is no information integration between transport corridor systems, and there is no clear vision of the benefits and possible risks of the impact of AI on digitalization.

Based on the above, this study is devoted to the analysis and assessment of the state of digital services in the transport industry.

The object of research in this article is the transport industry.

The subject of this research serves as a digital integration process within the ecosystem of a multimodal transport corridor.

The purpose of the study is to analyze and evaluate the digital transformation of the transport industry

The scientific novelty of the study lies in the fact that:

– the main business processes of transport companies for the transition to digital transport corridors have been identified;

– an expert assessment was given of the impact of AI on the business processes of companies in the transport industry;

– the consequences of introducing AI at both the micro-logistics and macro-logistics levels of functioning of a company in the transport industry have been identified;

– a SWOT analysis of the impact of AI on business processes of transport industry entities was completed.

The methodology

A comparison of the functionality and effectiveness of existing information systems and digital services with best industry practices and modern technological trends was carried out using the method of comparative analysis and expert assessments. To determine the degree of impact of the introduction of AI on the business processes of companies participating in the multimodal transport corridor, the method of expert assessments was used. The sample size was 73 respondents, with a confidence level of 0.95.

SWOT analysis was used to assess the strengths, weaknesses, opportunities and threats of using AI in companies in the transport industry to develop a strategy for improving digitalization. Combining these methods will make it possible to obtain a comprehensive and well-founded understanding of the state of digitalization of transport corridors and identify ways to improve them to optimize the transportation process.

Findings/Discussion

In the course of this study, an analysis and assessment of the state of digital services of transport corridors was carried out. To ensure systematic and coordinated operation of digital services within the ecosystem of transport corridors of the EAEU, CTKs are being implemented. In particular, JSC NC KTZ carries out electronic data exchange according to UN/EDIFACT standards in international railway freight traffic with the Chinese Railways Group of Companies, Russian Railways JSC (Russian Railways JSC), Belarusian Railways, Azerbaijan Railways JSC, JSC “Uzbekistan Temiryullari” and SE “NC “Kyrgyz Temir Zholu” in the amount of the SMGS consignment note, CIM/SMGS, train transfer sheet and shipping documents in PARTIN format [27]. In particular, JSC NC KTZ carries out the transportation of private empty, loaded wagons

and containers in export-import traffic at the stations of JSC Russian Railways using paperless technology using an electronic consignment note.

The implementation of projects for a seamless digital corridor of an automated accounting system and contactless inspection of rolling stock, optimizing locomotive operating modes and fuel economy, at NC KTZ JSC is ensured through the implementation of AI algorithms from “Huawei” and “PSA”. [37].

The introduction of a digital Global Transit Document (GTrDTM), based on blockchain technology, which makes it possible to create a digital customs transit network, optimizes logistics costs and increases container flows through a multimodal transport corridor.

The creation of a digital corridor within the framework of the Trans-Caspian International Transport Route (TITR), proposed by “KTZ Express” Joint Stock Company (a subsidiary of NC KTZ JSC) and Global DTC Pte Ltd is one of the stages in the implementation of digital global transit [27, 29].

As part of this study, an expert survey was conducted to determine the degree of impact of AI on the digitalization of the transport industry. The expert group answered eight questions, each of which contained several statements revealing the impact of AI implementation on companies’ business processes.

Analysis of the results obtained shows that AI will speed up the processing of large amounts of data and relieve employees of transport and logistics companies from solving routine tasks. But this does not mean that AI will replace humans in effective trusting communication, empathy, moral awareness and ethical principles.

Experts noted the areas of influence of AI to a greater extent in terms of optimizing information during the transportation of goods, tracking, forecasting, automation and robotization, including when analyzing large volumes of data.

Experts see big risks in the problem of data security, ethical issues when making AI decisions, as well as depending on technology, which, if it fails, can lead to irreversible critical situations.

The most important components of efficiency from the use of AI in the economy, experts noted the optimization of resources, cost reduction and process automation, which will lead to a reduction in errors. In the policies of companies when introducing AI, experts note changes in the strategy for using and implementing technologies, training staff and improving customer service.

One of the popular technologies used in transport companies is the technology for processing and analyzing large volumes of data. Transport companies will more actively implement technologies for processing and storing big data to effectively use information about cargo, routes and customer preferences.

The study revealed that there are risks in the implementation of AI. In this regard, a list of resources is proposed for companies to decide on introducing AI into business processes:

- large amounts of data for training, as well as creating accurate forecasting and calculation models;
- high computing power for processing large volumes of data and executing complex algorithms;
- data storage and processing systems that accumulate, store and analyze large volumes of data;

- powerful data security system that prevents unauthorized access to confidential information;
- integration with other technologies used in the enterprise;
- education and training of employees who use AI in their work;
- highly qualified specialists capable of working with advanced technologies and implementing solutions to improve logistics processes;
- financial resources to acquire and customize AI systems to invest in developing technological value and recruit highly qualified specialists;
- global presence to serve clients in different parts of the world;
- reliable partnerships with other enterprises and organizations to use their resources and expertise to optimize logistics processes.

The current situation in the global transport market shows that for the development of high-quality, sustainable and reliable infrastructure of multimodal transport corridors, it is necessary to use electronic documents based on digital data exchange.

The implementation of digital services must be coordinated and systematic. In this regard, an Action Plan for the implementation of the ecosystem of digital transport corridors of the EAEU (hereinafter referred to as the DTC Plan) was developed within the EAEU [26].

Today, railway transport provides a service - electronic exchange of the railway bill of lading. In Kazakhstan, it is implemented in the ASU DKR.

NC KTZ JSC, with the aim of implementing the exchange of electronic data according to UN/EDIFACT standards in international railway freight traffic, has entered into Agreements [27, 36]:

- with JSC Russian Railways and State Enterprise NC Kyrgyz Temir Zholu in the scope of the SMGS (Agreement on International Goods Transport by Rail) consignment note, CIM/SMGS, information on the train composition and shipping documents, data on consignees in PARTIN format;
- with the “Chinese Railways Group” in the scope of the SMGS (Agreement on International Goods Transport by Rail) consignment note, CIM/SMGS, information on the train composition;
- with “Azerbaijan Railways” JSC and “Uzbekistan Temiryullari” JSC in the scope of the SMGS (Agreement on International Goods Transport by Rail) consignment note and information on the train composition.

In order to implement paperless technology, KTZ – Freight Transportation LLP has concluded an Agreement with Russian Railways JSC on the implementation of transportation of private empty, loaded wagons and containers using paperless technology using an electronic consignment note [27]. Within the framework of this Agreement, NC KTZ JSC carries out registration of transportation documents in export-import communications using paperless technology to Russian stations of Russian Railways JSC.

Transportation documents in the automated system of NC KTZ JSC are signed with an electronic digital signature of shippers and consignees. The legitimacy of electronic transportation documents for transportation with JSC Russian Railways using paperless technology is ensured by a Trusted Third Party, whose functions are provided by JSC National Information Technologies at the state level.

The results of issuing transportation documents using paperless technology for 2020 at the company NC KTZ JSC indicate an increasing trend towards switching to digital design (see Figure 1).



Figure 1. Registration of transportation documents using paperless technology in 2020
Source: compiled on the basis of data

For 10 months of 2023, the percentage of paperless transportation in the direction of Russian Railways for export transportation was more than 60%. In intra-republican traffic, the percentage of carriages issued using paperless technology was 99.6% [27].

In 2021, test transportation of goods (according to the agreed nomenclature and routes) was successfully carried out in the Belarus-Russia-Kazakhstan message using paperless technology based on electronic SMGS consignment notes. Based on the results of test shipments, the issue of expanding the geography of the use of electronic transportation documents in the Belarus-Russia-Kazakhstan traffic is currently being considered. [28].

Between JSC NC KTZ, JSC Russian Railways and the Belarusian Railway, Regulations were signed for conducting a pilot project for the exchange of electronic messages IFTMIN in EDIFACT format in the volume of the SMGS consignment note, containing information about the electronic nature of the transit declaration and information about the customs mark during the transit of goods, transported by rail along the transportation routes Dostyk-Brest-North and Altynkol-Brest-North [27, 36].

The implementation of this project will allow the railway carrier to check customs marks in its information systems to fulfill its obligations under the customs legislation of the Eurasian Economic Union.

NC KTZ JSC is tasked with expanding the geography of the exchange of legitimate electronic data with carriers of other states and increasing the completeness and quality of their exchange to a level that allows for the transition to transportation using paperless technology, which in turn will lead to improved cross-border throughput, acceptance measures to eliminate bottlenecks.

Thus, NC KTZ JSC announced the launch of: a “smart system” based on Huawei’s AI algorithms by 2025; together with the PSA company - a seamless digital corridor; scaling the project to introduce automatic accounting systems and contactless inspection of rolling stock (“digital framework”); e-Telegram notification exchange systems; systems for optimizing locomotive operating modes and fuel economy “Trip Optimizer”, etc. [27, 36].

As part of the development of trade and economic cooperation between the EAEU and the People’s Republic of China (PRC), following the Order of the Eurasian Intergovernmental

Council “On the plan for the digitalization of freight rail transport in the interests of developing trade and economic cooperation between the EAEU and its member states, on the one hand,” which entered into force, and the People's Republic of China on the other hand” have established short deadlines for the implementation of a phased transition to paperless technology for the transportation of goods by rail [32, 33]. From 2027, economic operators and all competent authorities in SPECA member states will begin to use electronic freight transport data from economic operators by relevant UN legal instruments and standards, including the UN/CEFACT set of standards. Data will be interoperable between industries and relevant modes of transport along the Trans-Caspian Transport Corridor (TCTC) to improve the efficiency of data exchange and the movement of goods across borders [31, 34].

Thus, a digital corridor will be launched within the framework of TCTC. The declaration on the launch of this project in 2024 was announced by KTZ Express JSC and Global DTC Pte Ltd (Singapore) [29].

The document provides for cooperation on the launch of a project for customs clearance of electronic transit of goods traveling by rail from the PRC to the EU countries through the Republic of Kazakhstan, as well as the implementation of joint measures to ensure the effective uninterrupted operation of the Tez Customs digital platform on TCTC [29]. The Tez Customs platform allows you to carry out a customs declaration of goods electronically for deliveries from China to Central Asian countries.

The results of the project to create an ecosystem of digital transport corridors will be:

- reduction of delivery times;
- reduction of time and costs for border crossings;
- refusal of paper documentation;
- eliminating the costs associated with corruption;
- lack of physical contact with personnel (customs, government control bodies) due to the digitalization of procedures that eliminate physical checks and temptations of corruption;
- reducing the impact on climate and environment;
- increasing the average speed of cargo delivery and reducing waiting times at the border, it reduces greenhouse gas emissions;
- attracting additional cargo flows.

The transition to digitalization and reduction of time for processing paper documents for all participants in multimodal transportation (road and rail carriers, forwarders, state control authorities, etc.) saves up to 4 days. In addition, the project will ensure not only the digitalization of transit, full traceability of cargo, containers and vehicles, but also reduce the risk of non-delivery of cargo in containers, and ensure the trust of the customs authorities of the countries through whose territory international transport is carried out.

Currently, a concept aimed at introducing a digital Global Transit Document (GTrDtm), based on blockchain technology, is being considered [30]. The transition to its use will optimize logistics costs and create the prerequisites for attracting additional flows of container cargo to the multimodal transport corridor and create a digital customs transit network (DCTN).

Thus, at present, the digitalization of key business processes in the railway industry is considered an objective necessity. This raises the question of the degree of trust in AI. This

problem is reflected in a questionnaire developed by the authors of the article for transport industry experts.

The criteria for selecting experts were the field of activity, work experience, position held and age of the respondents (Figure 2). The study involved 73 respondents (at a confidence level of 0.95) working in the transport industry of Kazakhstan, in particular in the Ministry of Transport of the Republic of Kazakhstan, JSC NC KTZ, the transport and logistics company GC SMG, the transport and forwarding company LLP "PORTO COM.", Kazakhstan Road Research Institute, etc. Of these, 54.5% are women and 45.5% are men aged from 20 to 60 or more years. The age group of the most active life phase from 20-50 years old, who expressed their expert opinion, amounted to 82%. In groups of 50 to 60 or more, 18% of respondents completed the survey.

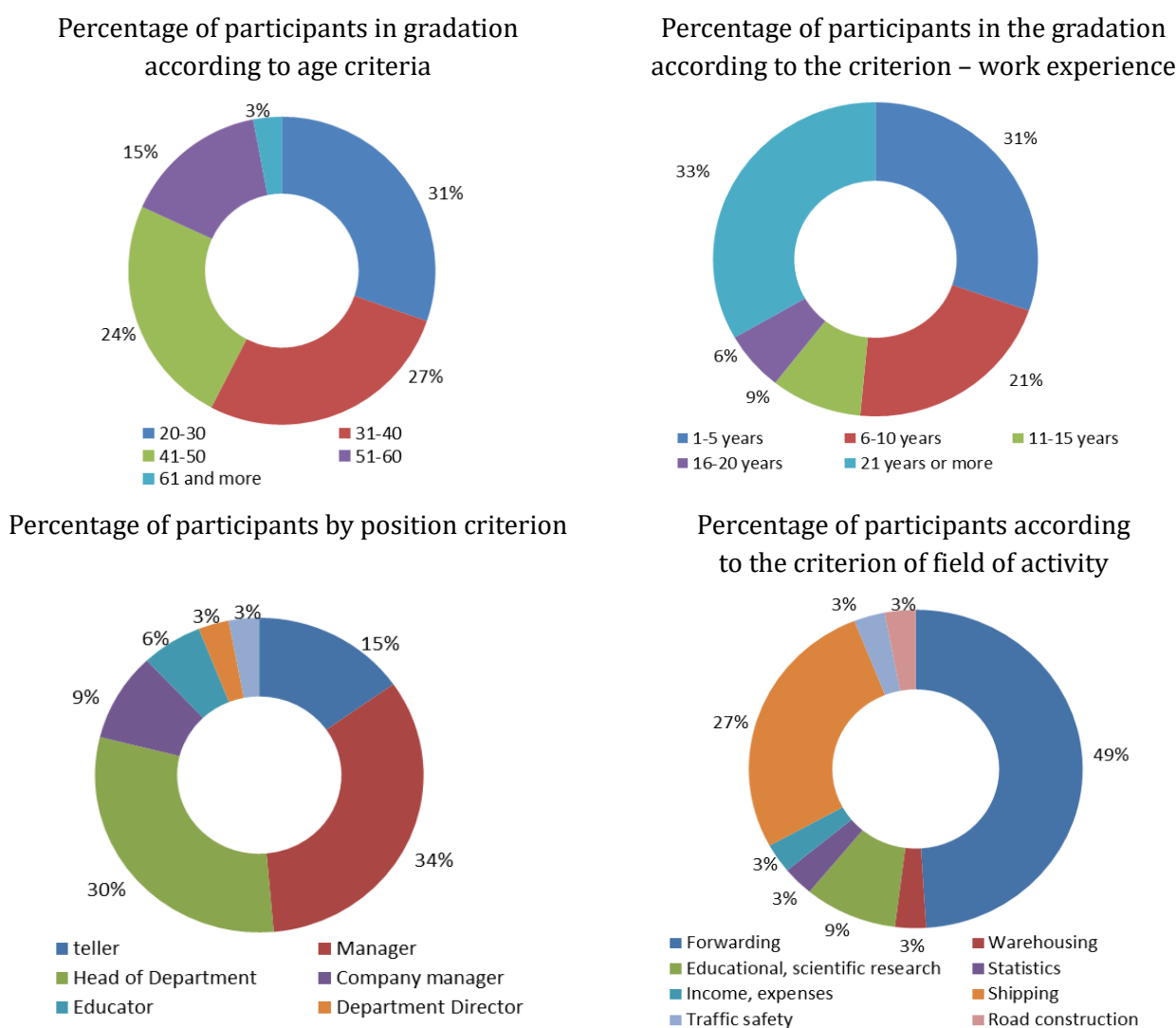


Figure 2. Criteria for Selecting Respondents

Source: compiled on the basis of the authors' own research

The survey involved specialists from eight areas of transport logistics and eight different job levels, taking into account their work experience (see Figure 2).

Three key groups, to a greater extent, in terms of the number of respondents, filled out the questionnaire; they were experts with work experience of more than 21 years – 33.3%, from 1 to 5 years – 30.3%, with experience from 6 to 10 years – 21.2%.

When analyzing the experts' answers about what artificial intelligence does better than a qualified employee of a logistics company, it was noted that 72.7% of votes were given by participants in support of the importance of using AI in processing and analyzing huge volumes of data. This will make it possible to more accurately predict logistics needs, manage inventory and optimize routes (Figure 3).

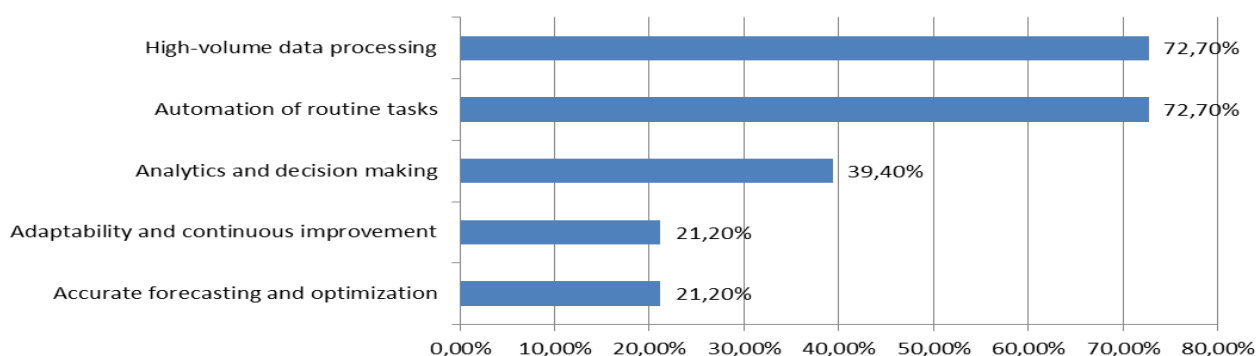


Figure 3. Analysis of expert preferences when comparing what artificial intelligence does better than a qualified employee of a logistics company

Source: compiled on the basis of the authors' own research

Equally important, 72.7% of votes were given to the statement that AI can automate many routine tasks, such as cargo tracking, routing, inventory management, and will make it possible to free up human resources to perform more complex and strategically important tasks.

The next most important statement was the statement, voted for by 39.4% of participants. AI can conduct deeper data analysis, identify patterns and provide logistics professionals with valuable information to make more informed decisions.

The remaining two statements showed that the company's employees are quite capable of handling this task on their own. Only 24.2% of respondents noted that the use of AI will help the company quickly adapt to changes in the environment and effectively respond to changes in the supply chain.

Also, with a difference of one vote, 21.2% of participants noted that machine learning algorithms in AI are capable of analyzing data and predicting future trends with high accuracy to optimize logistics operations, reduce travel time and reduce costs.

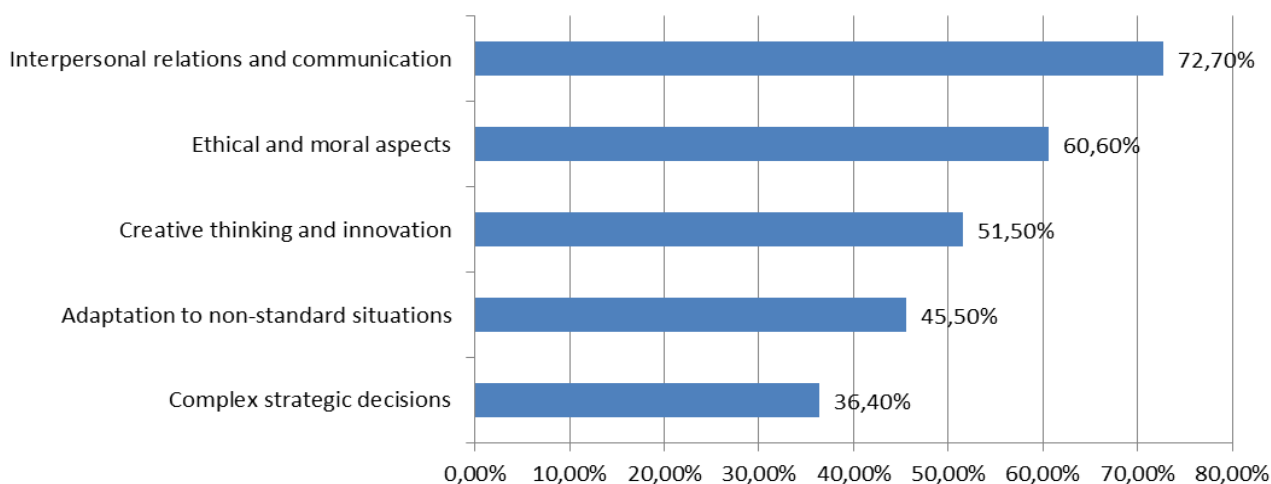


Figure 4. Analysis of expert preferences when comparing the reasons why a qualified employee of a logistics company will never be able to surpass artificial intelligence
Source: compiled on the basis of the authors' own research

Experts' preferences when comparing the reasons why a skilled logistics employee will never be able to outperform AI were divided, but the favorite was the statement that interaction with customers, suppliers, and other participants in the supply chain often requires human nuanced understanding, empathy and ability to communicate effectively. In this aspect, a person can better adapt to difficult situations and solve problems that require interpersonal skills. A larger number of respondents voted for him - 72.7% (Figure 4). 60.6% of participants noted that making decisions related to ethics and morality often requires human awareness and judgment.

The remaining three arguments were noted by approximately equal numbers of participants.

51.5% of participants believe that creative thinking and innovation are only subject to human abilities. In areas that require creativity and innovative thinking, humans are superior to AI. An example is the development of new strategies, change management, and the search for non-standard solutions to problems. In emergency situations that require a quick and flexible response to unexpected circumstances, a person may be more capable of adapting and making decisions in real-time. This opinion was expressed by 45.5% of experts.

According to the third argument, 36.4% of respondents agree with the situation, especially in conditions of uncertainty, human experience and intuition can be decisive factors in making strategic decisions, which cannot always be logically justified or inferred from data.

On the question of the potential of AI when used in the transport industry, it is clear that participants are more convinced of the predominant impact of AI on transport logistics.

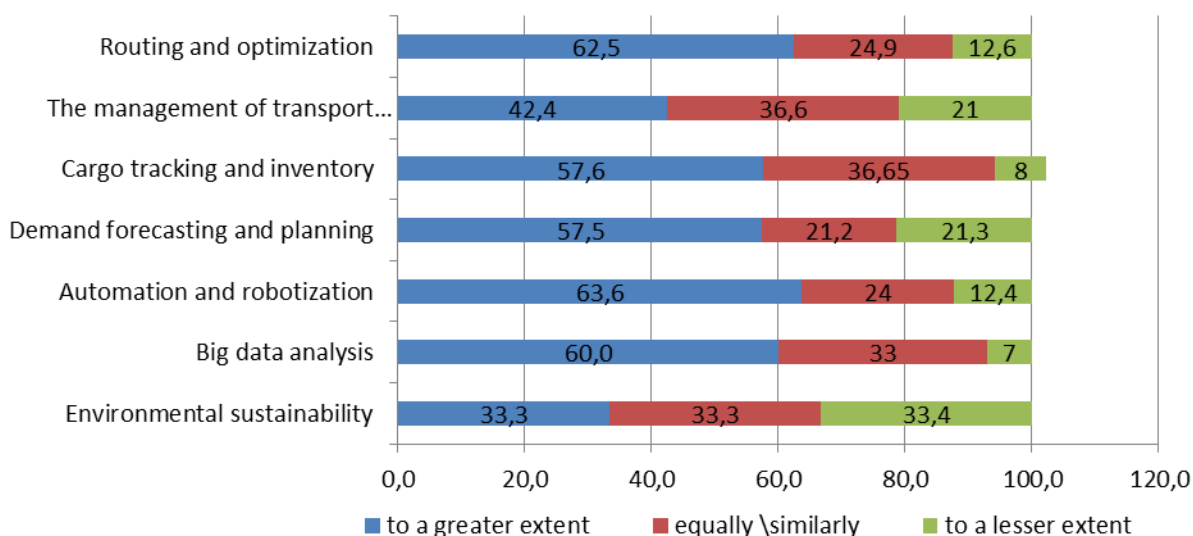


Figure 5. Analysis of expert preferences regarding the capabilities of AI when using it in the field of transport logistics

Source: compiled on the basis of the authors' own research

The experts were presented with seven stages of the transportation process. For all points presented, about 60% of respondents equally noted that the use of AI helps improve the efficiency of the company's business processes (Figure 5).

In the field of forecasting and rational operation of transport resources, only 42.4% of experts noted the importance of using AI. 36.6% believe that in this zone of influence, the human factor is effective and does not require the introduction of AI.

When it comes to optimizing routes and using vehicles to reduce environmental impact and improve energy efficiency, opinions are equally divided. Therefore, it is definitely not possible to single out this point as more or less reflecting the influence of AI on it.

To assess risks on a five-point scale, 7 statements were proposed.

The preferences of experts when assessing the risks of transport companies are distributed in increasing order of risk as follows:

- the use of AI in the transportation industry may raise ethical questions related to algorithmic decision-making. For example, liability issues for automated vehicles or the use of customer data;
- the introduction of AI can make companies more dependent on technology, and in case of failures or problems in the system, this can significantly hamper or stop operations;
- processing large volumes of data includes the risk of leakage or unauthorized access to confidential information about cargo, orders and customer personal data. Data protection becomes a priority to prevent leaks and privacy violations;
- In the case of automation of many processes using AI, some clients may face the problem of not being able to communicate with the operator in case of unusual situations or complaints (Figure 6).

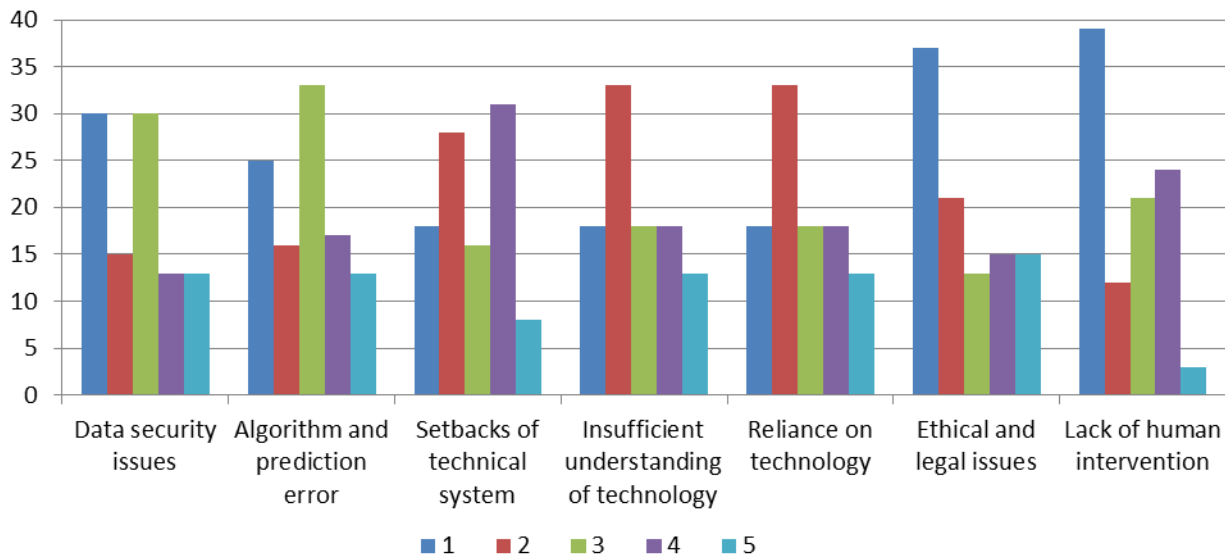


Figure 6. Analysis of expert preferences in considering the risks expected by customers when using AI in transport companies

Source: compiled on the basis of the authors' own research

All other situations did not cause respondents to fear a high degree of risk, but experts do not believe that they can be safe. The majority of respondents, from 27 to 33%, assigned these indicators a medium degree of risk.

Respondents include the following situations as such risks:

- AI is based on machine learning algorithms, which may be subject to error. Incorrect route forecasts, delivery time estimates or other errors may result in customer dissatisfaction and additional costs;
- technical failures, software failures or insufficient maintenance of AI systems may cause operational downtime, delivery delays and potential losses to customers;
- customers may face risks due to a lack of understanding of how AI works in transport logistics. This can cause mistrust and misunderstanding, especially if clients cannot explain the decision-making principles of the algorithms.

As part of this study, experts were asked to evaluate the degree of influence of AI on economic factors.

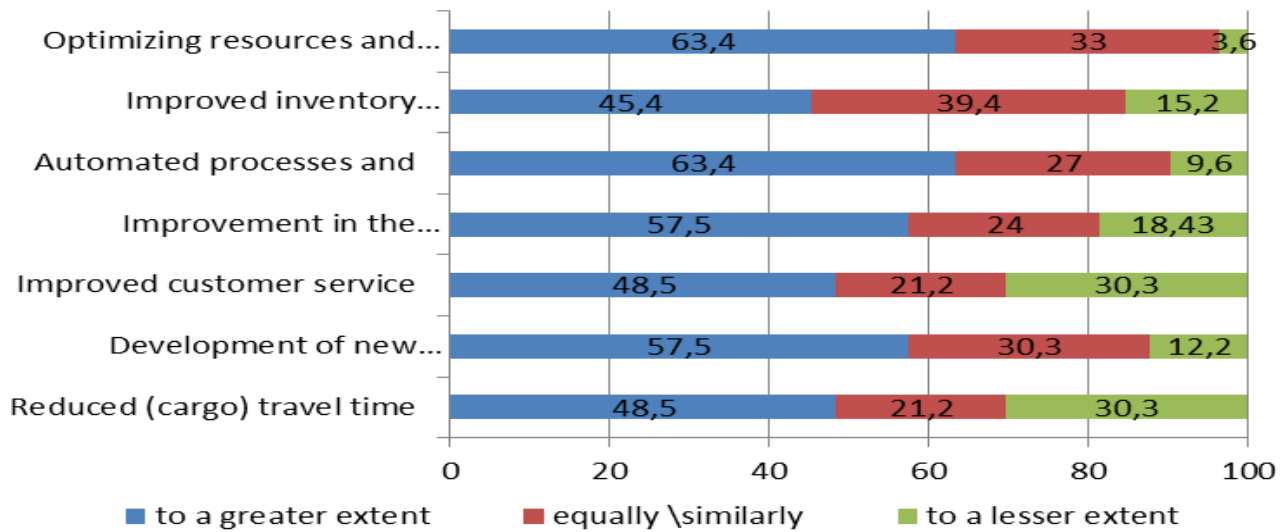


Figure 7. Analysis of expert assessments of the impact of AI on change enterprise economic factors
Source: compiled on the basis of the authors' own research

As a result of experts' assessment of the impact of AI on changes in economic factors of enterprises in the transport industry, it was revealed that from 50 to 64% of respondents in each statement noted that, to a greater extent, when using AI, the enterprise's economy tends to grow.

From 48.5 to 66% of experts indicate the great influence of AI on the politics and social environment of a harmoniously developing company, and in other cases, expert opinions were divided, almost equally, with an error of 3% (Figure 8). At the same time, experts note that environmental sustainability and ethical standards will not affect changes in company policies when introducing AI.

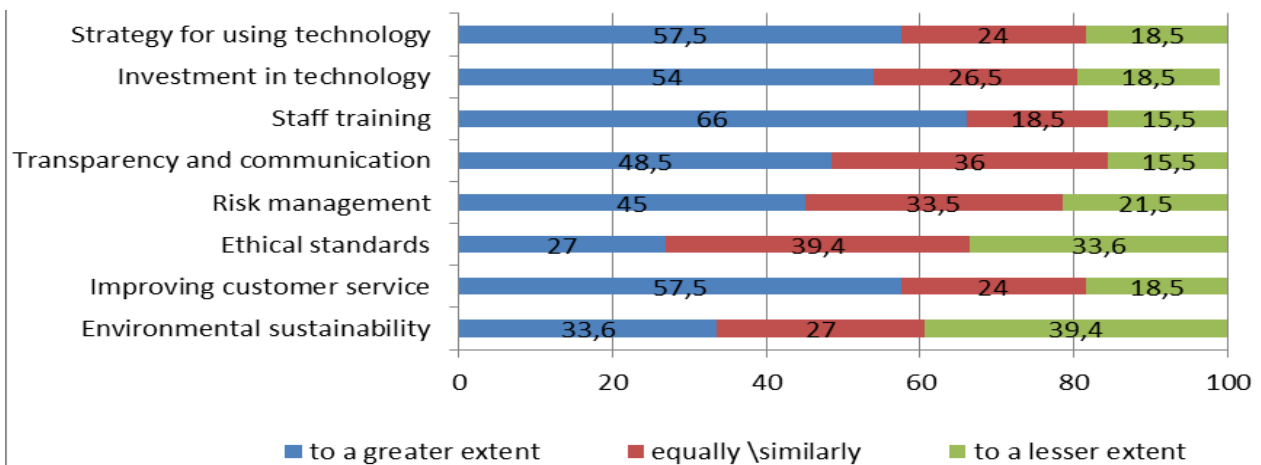


Figure 8. Analysis of the results of experts' assessment of changes in political factors of transport companies under the influence of AI

Source: compiled on the basis of the authors' own research

The largest number of experts (70%) noted the impact of AI on the functionality and qualifications of company employees.

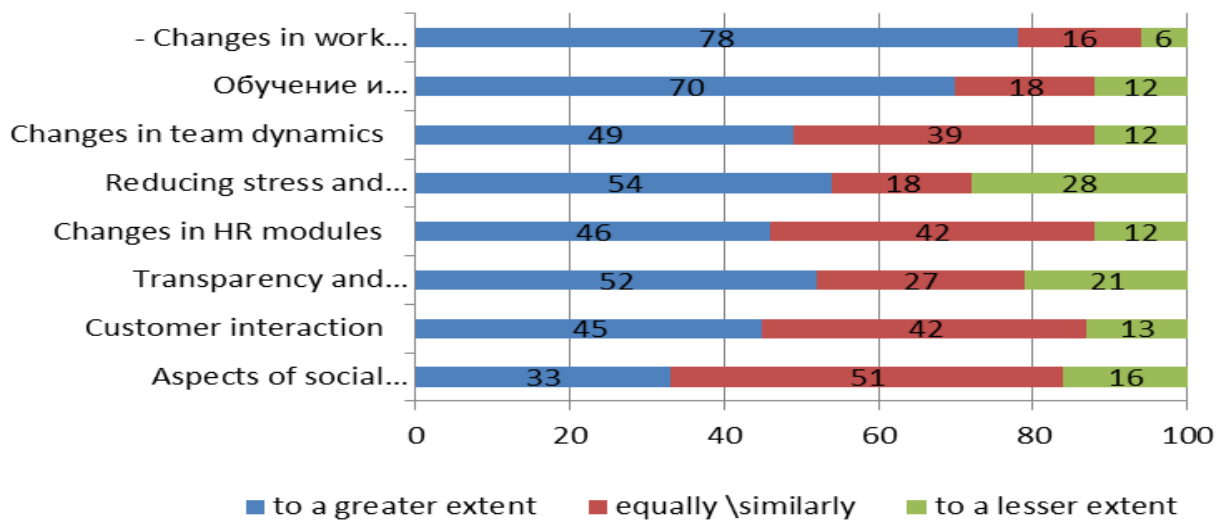


Figure 9. Analysis of the results of experts' assessment of changes in social factors of transport companies under the influence of AI

Source: compiled on the basis of the authors' own research

In aspects where AI can help companies begin to pay more attention to social responsibility issues, such as ethical standards, impact on employment, respondents (51%) are more doubtful and confident that social responsibility will remain at the same level.

From 45 to 54% of experts noted the insignificant impact of AI on the social factors of companies: changing the dynamics of team interaction; automation of routine tasks; review of personnel management models; emphasis on transparency in algorithmic decision-making; and changing the interaction of companies with customers.

Experts were asked to determine the degree of influence of AI on all business processes of enterprises at the micro and macro levels (Figure 10). When assessing the impact of AI on the technologies used by companies, 82% of experts considered Big Data technology to be the key technology among those listed.

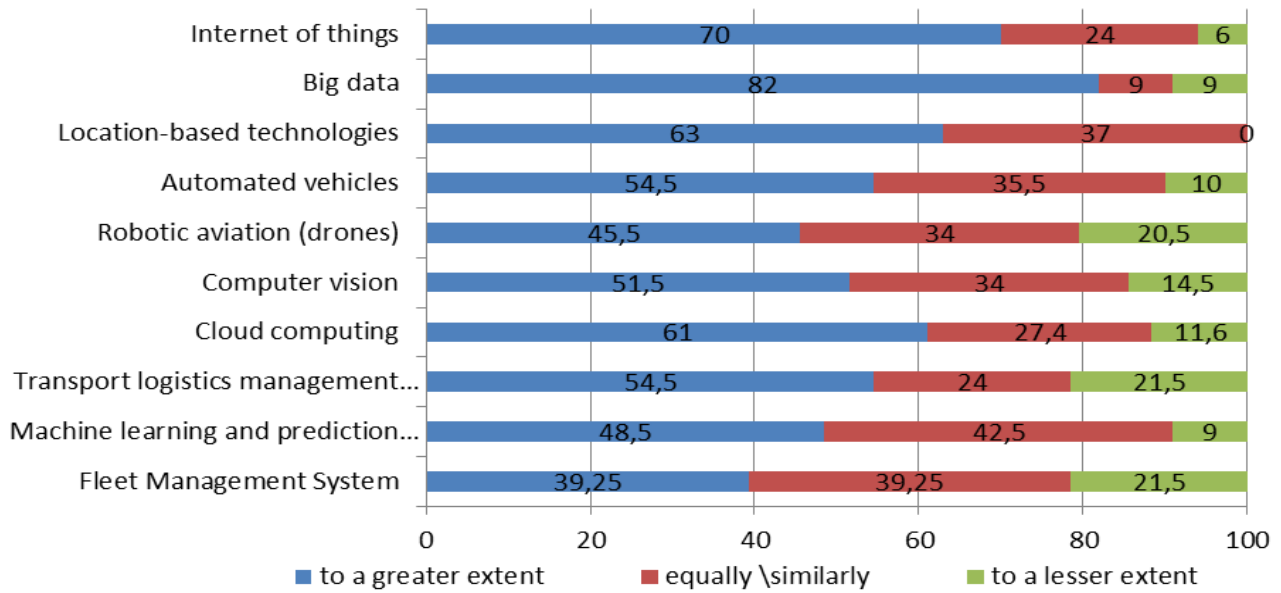


Figure 10. Diagram of AI impact assessment results on technologies used by companies
 Source: compiled on the basis of the authors' own research

More than 60% of respondents chose to use cloud technologies to a greater extent by companies, as they provide high scalability and availability.

More than 46% of experts claim that the introduction of AI will have a greater impact on the development of automation, robotization, digitalization and monitoring of business processes.

Vehicle management systems that will provide more accurate maintenance planning, fuel management and maintenance optimization have not found much acceptance among experts. Opinions were divided, with 36% noting that AI will impact technology, but also 36% of experts indicating that AI will not make much difference.

From the above, it follows that AI has a significant impact on the business processes of transport companies. In this regard, the priority of the development strategy of enterprises in the transport industry should be digitalization.

The results of this study demonstrate the growing impact of digitalization on the transformation of the transport industry. An expert survey showed its advantages and possible risks. To understand the feasibility and complexity of using AI, this study performed a SWOT analysis (Table 1).

Table 1. SWOT – analysis of the use of AI in companies in the transport industry

Strengths	Weaknesses
Increasing the efficiency of transportation process management; Improving the quality of services due to more accurate and faster adoption of the optimal decision; Improving the efficiency of the quality of transit	High cost of AI implementation; The need for training and maintenance of AI systems; Limitation of AI in complex and non-standard manifestations;

<p>and multi-intermodal transportation services provided; Increasing the speed and quality of document processing; Minimizing errors associated with human behavior; Reduced operating and administrative costs; Elimination of risks of additional expenses; The transition to electronic document management reduces the harmful impact on the environment; Optimizing fuel consumption has a positive effect on environmental safety.</p>	
Opportunities	Threats
<p>Improving the efficiency of planning, distribution and control of resources; Increasing the reliability and functionality of digital services; Improving the reliability of key business processes; Increasing the efficiency of decisions made; Increasing customer loyalty; Increase in productivity; Cost optimization; Reducing paperwork costs.</p>	<p>Possibility of data loss and privacy violations; High competition in the logistics services market; Errors and failures in systems; A constant need for updating.</p>

Source: compiled on the basis of the authors' own research

Thus, the benefits of digital transformation in the transport industry are becoming increasingly widespread. Digitalization opens up new development prospects for transport corridors, helps reduce costs through automation, unification and standardization of business processes, which facilitates effective interaction between partners along the entire transport corridor chain.

To realize these prospects it is necessary:

- active participation of member states of the UN Special Program for the Economies of Central Asia (SPECA) in the implementation of UN legal instruments (conventions and agreements) to facilitate transport and transit;
- use of relevant UN standards, including in the implementation of regional projects of the SPECA and EAEU member states;
- active participation of the Central Asian states, including Kazakhstan, in the global strategies of the EU and China to develop sustainable connections around the world - the Global Gateway and One Belt - One Road initiatives;
- ensure infrastructural compatibility along transport corridors of the SPECA, EAEU and global transit countries;
- unify digital documents based on international agreements;
- create a favorable investment, social, political environment along the digital multimodal transport corridor.

Thus, the current situation of digitalization of the transport industry of the SPECA member states, the EAEU and global transit, including Kazakhstan, indicates the large-scale influence of AI on the development of international multi-intermodal transport corridors.

The contribution of the authors:

Mukhametzhanova A.V. made a significant contribution to the development of the work's concept, including the analysis of the current state of transport industry digitalization. She participated in the development and analysis of the questionnaire to assess the impact of artificial intelligence. Additionally, she contributed to the writing, critical evaluation, and revision of all sections of the text, as well as the approval of the final version of the article for publication.

Zhandarbekova A.M. contributed to the analysis of institutional and technological changes in international transport corridors. She was responsible for the systematization of information on the state and trends of digital transformation. She also participated in writing the text, particularly the sections related to the ecosystem of transport corridors.

Sala D. participated in the critical evaluation of the text and the revision of its substantive content.

Bekzhanova S.E. made a significant contribution to conducting a SWOT analysis of the impact of artificial intelligence implementation at different levels of logistics and participated in writing recommendations for stakeholders in the transport market.

Sultanov T.T. contributed to the development of the work's concept, including the selection of analysis methodologies.

Devetyarova N.V. participated in writing the text, particularly the sections related to the risks of artificial intelligence implementation. She was responsible for studying and addressing issues related to the accuracy and reliability of the data.

References

1. Zhanibek, A., Abazov, R., & Khazbulatov, A. (2022). Digital Transformation of a Country's Image: The Case of the Astana International Finance Centre in Kazakhstan. *Virtual Economics*, 5(2), 71-94.
2. Abduljabbar, R., Dia, H., Liyanage, S., & Bagloee, S. A. (2019). Applications of artificial intelligence in transport: An overview. *Sustainability*, 11(1), 189.
3. Dimian, M., Zadobrischi, E., Căilean, A., Beguni, C., Avătămăniței, S. A., & Pașcu, P. (2024). Digital Transformation of the Transport Sector Towards Smart and Sustainable Mobility. In *Digital Transformation: Technology, Tools, and Studies* (pp. 215-237). Cham: Springer Nature Switzerland.
4. A Review of Further Directions for Artificial Intelligence, Machine Learning, and Deep Learning in Smart Logistics. *Sustainability* 2020, 12 (9), 3760; <https://doi.org/10.3390/su12093760>
5. Klumpp, M. (2018). Automation and artificial intelligence in business logistics systems: human reactions and collaboration requirements. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 21(3), 224–242. <https://doi.org/10.1080/13675567.2017.1384451>
6. Martin Kowalski, Stephan Zelewski, Daniel Bergenrodt, Hubert Klüpfel (2012) Application of new techniques of artificial intelligence in logistics: an ontology-driven case-based reasoning approach.

https://www.orgo-logistik.wiwi.uni-due.de/fileadmin/migratedchart3assets/file/Application_on_New_Techniques_of_Artificial_Intelligence_in_Logistics_final_v7_3_.pdf

7. Pandian, A. Pasumpon. "Artificial intelligence application in smart warehousing environment for automated logistics." *Journal of Artificial Intelligence* 1.02 (2019): 63-72.

8. Richey Jr, R. G., Chowdhury, S., Davis-Sramek, B., Giannakis, M., & Dwivedi, Y. K. (2023). Artificial intelligence in logistics and supply chain management: A primer and roadmap for research. *Journal of Business Logistics*, 44(4), 532-549. <https://doi.org/10.1111/jbl.12364>

9. Zhang, Y. (2019, October). The application of artificial intelligence in logistics and express delivery. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1325, No. 1, p. 012085). IOP Publishing.

10. Ceyhun, G. Ç. (2020). Recent developments of artificial intelligence in business logistics: A maritime industry case. *Digital Business Strategies in Blockchain Ecosystems: Transformational Design and Future of Global Business*, 343-353.

11. Oleśków-Szłapka, J., Wojciechowski, H., Domański, R., & Pawłowski, G. (2019). Logistics 4.0 maturity levels assessed based on GDM (grey decision model) and artificial intelligence in logistics 4.0-trends and future perspective. *Procedia Manufacturing*, 39, 1734-1742.

12. SCHAEFER, S. (2018). Artificial intelligence in logistics. SSI Schafer IT Solutions GmbH Jacqueline Fauland.

13. Wang, S. (2021). Artificial intelligence applications in the new model of logistics development based on wireless communication technology. *Scientific programming*, 2021, 1-14 <https://doi.org/10.1155/2021/5166993>

14. Klumpp, M., & Ruiner, C. (2022). Artificial intelligence, robotics, and logistics employment: The human factor in digital logistics. *Journal of Business Logistics*, 43(3).

15. Boute, R. N., & Udenio, M. (2022). AI in logistics and supply chain management. In *Global Logistics and Supply Chain Strategies for the 2020s: Vital Skills for the Next Generation* (pp. 49-65). Cham: Springer International Publishing.

16. Yang, B., & Huang, Z. (2021, June). The application research of artificial intelligence in logistics field. In *2021 international conference on intelligent computing, automation and applications (ICAA)* (pp. 203-208). IEEE.

17. Hu, W. C., Wu, H. T., Cho, H. H., & Tseng, F. H. (2020). Optimal route planning system for logistics vehicles based on artificial intelligence. *Journal of Internet Technology*, 21(3), 757-764.

18. Wilson, M., Paschen, J., & Pitt, L. (2022). The circular economy meets artificial intelligence (AI): Understanding the opportunities of AI for reverse logistics. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 33(1), 9-25.

19. Liu, Y., Tao, X., Li, X., Colombo, A., & Hu, S. (2023). Artificial intelligence in smart logistics cyber-physical systems: State-of-the-arts and potential applications. *IEEE Transactions on Industrial Cyber-Physical Systems*.

20. Chen, X. (2022). E-commerce logistics inspection system based on artificial intelligence technology in the context of big data. *Security and Communication Networks*, 2022..

21. Rosendorff, A., Hodes, A., & Fabian, B. (2021). Artificial intelligence for last-mile logistics- Procedures and architecture. *The Online Journal of Applied Knowledge Management (OJAKM)*, 9(1), 46-61.

22. Zhandarbekova, A., Kurenkeyeva, D., Murzabekova, K., Mukhametzhanova, A., Kalenov, G., Tulendiyev, Y., & Kuanyshbekova, K. (2024, March). Issues of Increasing the Efficiency of Traffic

Management on the Main Streets of Astana. In Emerging Cutting-Edge Developments in Intelligent Traffic and Transportation Systems: Proceedings of the 7th International Conference (ICITT 2023), Incorporating the 7th International Conference on Communication and Network Technology (ICCNT), Madrid, Spain, 18-20 September 2023 (Vol. 50, p. 253). IOS Press.

23. World Economic Forum// Official site // <https://www.weforum.org/agenda/2024/01/surprising-things-to-know-about-ai-and-emerging-technology-at-davos-2024/> (date of the application: 28.01.2024).

24. Joint Statement on the Contribution of International Trade and Supply Chains to a Sustainable Socioeconomic Recovery in COVID-19 times <https://www.cepal.org/en/notes/joint-statement-contribution-international-trade-and-supply-chains-sustainable-socioeconomic>

25. "KAZLOGISTICS" The Union of Transport Workers of Kazakhstan" Available at: <https://kazlogistics.kz/ru>. (Accessed: February 19, 2024)

26. The EAEU continues to create an ecosystem of digital transport corridors <https://eec.eaeunion.org/news/v-eaes-prodolzhaetsya-sozdanie-ekosistemy-tsifrovyykh-transportnykh-koridorov/>

27. Joint Stock Company National Company Kazakhstan Railways. Available at: <https://www.railways.kz/ru/investoram/godovye-otchety/>. (Accessed: February 09, 2024)

28. Harmonization of a standardized data set with International standards and data models, development of schemes of electronic equivalents of SMGS, CIM/SMGS and CIM railway transportation documents in formats xml и json. https://unttc.org/sites/unttc/files/202210/Reconciling%20a%20Standardized%20Dataset_RU.pdf

29. <https://www.ktze.kz/ru/news>

30. Application of blockchain technology in the United Nations system: towards a state of readiness. https://www.unjiu.org/sites/www.unjiu.org/files/jiu_rep_2020_7_russian.pdf

31. Roadmap for digitalization of multimodal exchange of data and documents along the Trans-Caspian transport corridor. Available at:

https://unece.org/sites/default/files/202404/Roadmap%20for%20the%20Digitalization%20of%20the%20Trans-Caspian%20Corridor_final_v3_RU.pdf. (Accessed: February 19, 2024).

32. Decision of the EEC Board dated January 18, 2022 No. 15 "On approval of the terms of reference for the implementation of the project "Creation of an information and communication "showcase" of national services of the ecosystem of digital transport corridors of the EAEU"" Terms of reference for the implementation of the project "Creation of an information and communication "showcases" of national services of the ecosystem of digital transport corridors of the EAEU"

33. On the implementation of the project "Creation of an information and communication "showcase" of national services of the ecosystem of digital transport corridors of the EAEU"

Decision of the Council of the Eurasian Economic Commission of September 14, 2021 No. 87.

34. "TITR" Association. TITR—Trans-Caspian International Transport Route. 2022. Available online: <https://middlecorridor.com/en/> (Accessed: February 2, 2024)

35. On approval of the Concept for the development of transport and logistics potential of the Republic of Kazakhstan until 2030. Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan dated December 30, 2022 No. 1116. Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2200001116>

36. LLP "KTZ - Freight transportation" // Official site // https://ktzh-gp.kz/ru/media/news/news_main_section_ru/18165/ (Accessed: February 19, 2024)

37. KTZ and Huawei signed a Strategic Cooperation Agreement <https://www.huawei.com/kz-ru/news/kz/2022/news-strategichkoe-soglashenie-huawei-ktzh>

38. KTZ summed up the results of digitalization in the railway [Electron. resource]-2021- URL. <https://toppress.kz/article/ktzh-podvel-itogi-cifrovizacii-na-zheleznoi-doroge> (Accessed: February 19, 2024)

**А. Мухаметжанова¹, А. Жандарбекова*², Д. Сала³, С. Бекжанова⁴, Т. Султанов¹,
Н. Деветьярова⁵**

¹*Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан*

²*Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина*

³*AGH Университет науки и технологии, Краков, Польша*

⁴*Satbayev University, Алматы, Казахстан*

⁵*Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан*

Цифровая трансформация транспортной отрасли: анализ возможностей и рисков

Аннотация. В статье посредством анализа текущего состояния процесса цифровизации транспортной отрасли и оценки результатов анкетирования экспертов выявлена степень воздействия искусственного интеллекта на бизнес-процессы компаний.

Исследование институциональных и технологических изменений в сфере международных транспортных коридоров нашло свое отражение в данной статье. Систематизирована информация о состоянии и основных тенденциях цифровой трансформации коридоров, проанализирована их экосистема, определены заинтересованные стороны и драйверы цифровизации транспортной отрасли. В этой связи надлежащее внедрение стандартов ООН по унификации инфраструктуры, цифровизации бизнес-процессов по упрощению перевозок и транзита требует активного участия субъектов транспортных коридоров.

Разработанная авторами данной статьи анкета по опросу степени воздействия искусственного интеллекта на технологию работы транспортных компании позволила оценить не только преимущества от внедрения искусственного интеллекта, но и возможные риски.

С помощью SWOT анализа изучены последствия внедрения искусственного интеллекта как на микрологистическом, так и на макрологистическом уровне функционирования компаний. Исходя из изученных данных, определены основные направления действий, которым должны следовать субъекты транспортного рынка для повышения уровня цифровизации отрасли.

Ключевые слова: Транспорт, транспортная отрасль, бизнес-процессы, искусственный интеллект, экспертная оценка, цифровизация, трансформация, мультимодальные цифровые транспортные коридоры

А. Мухаметжанова¹, А. Жандарбекова*², Д. Сала³, С. Бекжанова⁴, Т. Султанов¹,
Н. Деветьярова⁵

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

²С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті

³AGH Ғылым және технология университеті, Краков, Польша

⁴Satbayev University, Алматы, Қазақстан

⁵Халықаралық көлік және гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

Көлік саласының цифрлық трансформациясы: мүмкіндіктер мен қауіптерді талдау

Аңдатпа. Мақалада көлік саласындағы цифрландыру процесінің қазіргі жағдайын талдау және сарапшылар сауалнамасының нәтижелерін бағалау арқылы жасанды интеллекттің компаниялардың бизнес-процестеріне әсер ету деңгейі анықталды.

Халықаралық көлік дәліздеріндегі институционалдық және технологиялық өзгерістер зерттеліп, мақалада көрініс тапты. Дәліздердің цифрлық трансформациясы жағдайы мен негізгі үрдістері жүйеленді, олардың экожүйесі талданып, мүдделі тараптар мен көлік саласындағы цифрландырудың драйверлері анықталды. Осыған байланысты, инфрақұрылымды біріздендіру, тасымалдау мен транзитті жеңілдету бойынша БҰҰ стандарттарын тиімді енгізу көлік дәліздеріне қатысушылардың белсенді әрекетін талап етеді.

Мақала авторлары жасаған жасанды интеллекттің көлік компанияларының жұмыс технологиясына әсерін бағалауға арналған сауалнама жасанды интеллект енгізудің артықшылықтарын ғана емес, сонымен қатар ықтимал тәуекелдерді де бағалауға мүмкіндік берді.

SWOT талдау әдісі арқылы жасанды интеллектті енгізудің компаниялардың микрологиялық және макрологиялық деңгейлердегі қызметіне тигізетін әсері зерттелді. Зерттелген мәліметтер негізінде көлік нарығына қатысушылардың саланың цифрландыру деңгейін арттыруға бағытталған негізгі әрекет бағыттары анықталды.

Түйін сөздер: Көлік, көлік саласы, бизнес-процестер, жасанды интеллект, сараптамалық бағалау, цифрландыру, трансформация, мультимодальды цифрлық көлік дәліздері.

References

1. Zhanibek, A., Abazov, R., & Khazbulatov, A. (2022). Digital Transformation of a Country's Image: The Case of the Astana International Finance Centre in Kazakhstan. *Virtual Economics*, 5(2), 71-94.
2. Abduljabbar, R., Dia, H., Liyanage, S., & Bagloee, S. A. (2019). Applications of artificial intelligence in transport: An overview. *Sustainability*, 11(1), 189.
3. Dimian, M., Zadobrischi, E., Căilean, A., Beguni, C., Avătămăniței, S. A., & Pașcu, P. (2024). Digital Transformation of the Transport Sector Towards Smart and Sustainable Mobility. In *Digital Transformation: Technology, Tools, and Studies* (pp. 215-237). Cham: Springer Nature Switzerland.
4. A Review of Further Directions for Artificial Intelligence, Machine Learning, and Deep Learning in Smart Logistics. *Sustainability* 2020, 12 (9), 3760; <https://doi.org/10.3390/su12093760>
5. Klumpp, M. (2018). Automation and artificial intelligence in business logistics systems: human reactions and collaboration requirements. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 21(3), 224–242. <https://doi.org/10.1080/13675567.2017.1384451>

6. Martin Kowalski, Stephan Zelewski, Daniel Bergenrodt, Hubert Klüpfel (2012) Application of new techniques of artificial intelligence in logistics: an ontology-driven case-based reasoning approach. https://www.orgo-logistik.wiwi.uni-due.de/fileadmin/migratedchart3assets/file/Application_on_New_Techniques_of_Artificial_Intelligence_in_Logistics_final_v7_3_.pdf
7. Pandian, A. Pasumpon. "Artificial intelligence application in smart warehousing environment for automated logistics." *Journal of Artificial Intelligence* 1.02 (2019): 63-72.
8. Richey Jr, R. G., Chowdhury, S., Davis-Sramek, B., Giannakis, M., & Dwivedi, Y. K. (2023). Artificial intelligence in logistics and supply chain management: A primer and roadmap for research. *Journal of Business Logistics*, 44(4), 532-549. <https://doi.org/10.1111/jbl.12364>
9. Zhang, Y. (2019, October). The application of artificial intelligence in logistics and express delivery. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1325, No. 1, p. 012085). IOP Publishing.
10. Ceyhun, G. Ç. (2020). Recent developments of artificial intelligence in business logistics: A maritime industry case. *Digital Business Strategies in Blockchain Ecosystems: Transformational Design and Future of Global Business*, 343-353.
11. Oleśków-Szłapka, J., Wojciechowski, H., Domański, R., & Pawłowski, G. (2019). Logistics 4.0 maturity levels assessed based on GDM (grey decision model) and artificial intelligence in logistics 4.0-trends and future perspective. *Procedia Manufacturing*, 39, 1734-1742.
12. SCHAEFER, S. (2018). Artificial intelligence in logistics. SSI Schafer IT Solutions GmbH Jacqueline Fauland.
13. Wang, S. (2021). Artificial intelligence applications in the new model of logistics development based on wireless communication technology. *Scientific programming*, 2021, 1-14 <https://doi.org/10.1155/2021/5166993>
14. Klumpp, M., & Ruiner, C. (2022). Artificial intelligence, robotics, and logistics employment: The human factor in digital logistics. *Journal of Business Logistics*, 43(3).
15. Boute, R. N., & Udenio, M. (2022). AI in logistics and supply chain management. In *Global Logistics and Supply Chain Strategies for the 2020s: Vital Skills for the Next Generation* (pp. 49-65). Cham: Springer International Publishing.
16. Yang, B., & Huang, Z. (2021, June). The application research of artificial intelligence in logistics field. In *2021 international conference on intelligent computing, automation and applications (ICAA)* (pp. 203-208). IEEE.
17. Hu, W. C., Wu, H. T., Cho, H. H., & Tseng, F. H. (2020). Optimal route planning system for logistics vehicles based on artificial intelligence. *Journal of Internet Technology*, 21(3), 757-764.
18. Wilson, M., Paschen, J., & Pitt, L. (2022). The circular economy meets artificial intelligence (AI): Understanding the opportunities of AI for reverse logistics. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 33(1), 9-25.
19. Liu, Y., Tao, X., Li, X., Colombo, A., & Hu, S. (2023). Artificial intelligence in smart logistics cyber-physical systems: State-of-the-arts and potential applications. *IEEE Transactions on Industrial Cyber-Physical Systems*.
20. Chen, X. (2022). E-commerce logistics inspection system based on artificial intelligence technology in the context of big data. *Security and Communication Networks*, 2022..
21. Rosendorff, A., Hodes, A., & Fabian, B. (2021). Artificial intelligence for last-mile logistics-Procedures and architecture. *The Online Journal of Applied Knowledge Management (OJAKM)*, 9(1), 46-61.

22. Zhandarbekova, A., Kurenkeyeva, D., Murzabekova, K., Mukhametzhanova, A., Kalenov, G., Tulendiyev, Y., & Kuanyshbekova, K. (2024, March). Issues of Increasing the Efficiency of Traffic Management on the Main Streets of Astana. In *Emerging Cutting-Edge Developments in Intelligent Traffic and Transportation Systems: Proceedings of the 7th International Conference (ICITT 2023), Incorporating the 7th International Conference on Communication and Network Technology (ICCNT)*, Madrid, Spain, 18-20 September 2023 (Vol. 50, p. 253). IOS Press.
23. World Economic Forum// Official site // <https://www.weforum.org/agenda/2024/01/surprising-things-to-know-about-ai-and-emerging-technology-at-davos-2024/> (date of the application: 28.01.2024).
24. Joint Statement on the Contribution of International Trade and Supply Chains to a Sustainable Socioeconomic Recovery in COVID-19 times <https://www.cepal.org/en/notes/joint-statement-contribution-international-trade-and-supply-chains-sustainable-socioeconomic>
25. "KAZLOGISTICS" The Union of Transport Workers of Kazakhstan" Available at: <https://kazlogistics.kz/ru>. (Accessed: February 19, 2024)
26. The EAEU continues to create an ecosystem of digital transport corridors <https://eec.eaeunion.org/news/v-eaes-prodolzhaetsya-sozdanie-ekosistemy-tsifrovyykh-transportnykh-koridorov/>
27. Joint Stock Company National Company Kazakhstan Railways. Available at: <https://www.railways.kz/ru/investoram/godovye-otchety/>. (Accessed: February 09, 2024)
28. Harmonization of a standardized data set with International standards and data models, development of schemes of electronic equivalents of SMGS, CIM/SMGS and CIM railway transportation documents in formats xml и json. https://unttc.org/sites/unttc/files/202210/Reconciling%20a%20Standardized%20Dataset_RU.pdf
29. <https://www.ktze.kz/ru/news>
30. Application of blockchain technology in the United Nations system: towards a state of readiness. https://www.unjiu.org/sites/www.unjiu.org/files/jiu_rep_2020_7_russian.pdf
31. Roadmap for digitalization of multimodal exchange of data and documents along the Trans-Caspian transport corridor. Available at: https://unece.org/sites/default/files/202404/Roadmap%20for%20the%20Digitalization%20of%20the%20Trans-Caspian%20Corridor_final_v3_RU.pdf. (Accessed: February 19, 2024).
32. Decision of the EEC Board dated January 18, 2022 No. 15 "On approval of the terms of reference for the implementation of the project "Creation of an information and communication "showcase" of national services of the ecosystem of digital transport corridors of the EAEU"" Terms of reference for the implementation of the project "Creation of an information and communication "showcases" of national services of the ecosystem of digital transport corridors of the EAEU"
33. On the implementation of the project "Creation of an information and communication "showcase" of national services of the ecosystem of digital transport corridors of the EAEU"
Decision of the Council of the Eurasian Economic Commission of September 14, 2021 No. 87.
34. "TITR" Association. TITR—Trans-Caspian International Transport Route. 2022. Available online: <https://middlecorridor.com/en/> (Accessed: February 2, 2024)
35. On approval of the Concept for the development of transport and logistics potential of the Republic of Kazakhstan until 2030. Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan dated December 30, 2022 No. 1116. Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2200001116>

36. LLP "KTZ - Freight transportation" // Official site // https://ktzh-gp.kz/ru/media/news/news_main_section_ru/18165/((Accessed: February 19, 2024)

37. KTZ and Huawei signed a Strategic Cooperation Agreement <https://www.huawei.com/kz-ru/news/kz/2022/news-strategichkoe-soglashenie-huawei-ktzh>

38. KTZ summed up the results of digitalization in the railway [Electron. resource]-2021- URL. <https://toppress.kz/article/ktzh-podvel-itogi-cifrovizacii-na-zheleznoi-doroge> (Accessed: February 19, 2024)

Information about the authors:

Mukhametzhanova A.V. – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Department of Transport Organisation, Traffic and Operation of Transport, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 010008 Republic of Kazakhstan, Astana, Satpayev 2

Zhandarbekova A.M. – corresponding author. Candidate of Technical Sciences (Phd), S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Republic of Kazakhstan 010011, Astana city Zhenis avenue, 62

Sala D. – Candidate of Technical Sciences (Phd), AGH University of Science and Technology, Poland, Krakow city al. Miscavige 30

Bekzhanova S.E. – Doctor of Technical Sciences, Professor, M. Tynyshpaev School of Transport Engineering and Logistics. Logistics Department, Satbayev University, Republic of Kazakhstan, 050013, Almaty city, Satpayev str. 22.

Sultanov T.T. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Organisation of transportations, traffic and operation of transport. L.N. Gumilyov Eurasian National University. 010008 Republic of Kazakhstan, Astana, Satpayev 2,

Devetyarova N.V. – Senior Lecturer Department of "Traffic Management and Logistics" International University of Transport and Humanities, 050063, Republic of Kazakhstan, Almaty, Zhetysu-1 m-n.

Мұхаметжанова А.В. – техника ғылымдарының докторы, доцент, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің "Көлікті ұйымдастыру, қозғалыс және көлік жұмысын басқару" кафедрасы, 010008, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Сәтбаев көшесі, 2.

Жандарбекова Ә.М. – хат-хабар авторы, техника ғылымдарының кандидаты (PhD), С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 010011, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Жеңіс даңғылы, 62.

Сала Д. – техника ғылымдарының кандидаты (PhD), АГН Ғылым және технология университеті, Польша, Краков қ., al. Miscavige 30.

Бекжанова С.Е. – техника ғылымдарының докторы, профессор, М.Тынышпаев атындағы Көлік және логистика инженериясы мектебі, Логистика кафедрасы, Satbayev University, 050013, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Сәтбаев көшесі, 22.

Сұлтанов Т.Т. – техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің "Көлік тасымалдарын ұйымдастыру, қозғалыс және көлік жұмысын басқару" кафедрасы, 010008, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Сәтбаев көшесі, 2.

Деветьярова Н.В. – аға оқытушы, "Қозғалысты басқару және логистика" кафедрасы, Халықаралық көлік және гуманитарлық университеті, 050063, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Жетісу-1 шағын ауданы.

Мухаметжанова А.В. – доктор технических наук, доцент Кафедра "Организация перевозок, движения и эксплуатация транспорта" Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, Республика Казахстан, 010008, г. Астана, ул. Сатпаева, 2

Жандарбекова А.М.– автор для корреспонденции, кандидат технических наук (PhD), Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, Республика Казахстан, 010011, г. Астана, проспект Женис, 62

Сала Д. – кандидат технических наук (PhD), Университет науки и технологий АГН, Польша, г. Краков, аллея Мицкевича, 30

Бекжанова С.Е. – доктор технических наук, профессор Школа транспортной инженерии и логистики им. М. Тынышпаева, кафедра логистики, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Республика Казахстан, 050013, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22

Султанов Т.Т. – кандидат технических наук, доцент Кафедра "Организация перевозок, движения и эксплуатация транспорта", Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Республика Казахстан, 010008, г. Астана, ул. Сатпаева, 2

Деветьярова Н.В.– старший преподаватель Кафедра "Управление движением и логистика", Международный университет транспорта и гуманитарных наук, Республика Казахстан, 050063, Алматы, мкр. Жетысу-1



Copyright: © 2024 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 70.17.55

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-149-4-188-201>

Научная статья

Методика экспериментальных исследований рабочего инструмента экскаватора, направленных на повышение эффективности земляных работ в гидротехническом строительстве

Ж.А. Дуйсебаев¹, Б.А. Алимбаев², У.Ш. Кокаев³, С.О. Торбекова^{*3}

^{1,2}Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан

³Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана

(E-mail: *torebekova-s@mail.ru)

Аннотация. В статье приводится методика экспериментальных исследований рабочего инструмента экскаватора, направленных на повышение эффективности земляных работ в гидротехническом строительстве. На базе априорной информации и поисковых экспериментов выполнены программа и методика исследований, определены сами факторы, их уровни и интервалы варьирования факторов, созданы матрицы планирования и обработки результатов экспериментов физического моделирования и натурных исследований.

Для лабораторных исследований использован существующий грунтовый канал. Для будущих обширных исследований созданы новый кольцевой грунтовый канал с расширенным диапазоном кинематических и технологических параметров и стенды для физического моделирования новых РО и их элементов. Изготовлены и испытаны модели новых РО с обоснованием масштабов, специальная тензометрическая тележка, тензометрические звенья для измерения параметров процессов физического моделирования, тензопальцы – для исследования натуральных образцов РО, оборудования и машин в полевых условиях.

Результаты экспериментов с ковшом на стенде физического моделирования позволили получить графические зависимости энергоемкости E процесса копания грунта с самоизменяемой формой кромки в функции подачи грунта S , силы предварительного сжатия пружины $F_{пр}$, глубины копания h и скорости резания v_p . Оптимизация по минимуму, проводимая для этого ковша, показала, что наибольшая эффективность по энергоемкости копания грунта может быть достигнута при следующих значениях переменных факторов: подача грунта $S=5$ мм; глубина копания $h=0,3...0,5$ м; скорости резания $v_p=0,13...0,17$ м/с и силы предварительного сжатия пружины $F=30...50$ Н.

Ключевые слова: обработка грунта, образцы экскаваторов, исследовательские зоны, рабочий процесс, режущая кромка, ковш, землеройные машины, гидротехническое строительство.

Поступила 05.11.2024. Доработана 18.11.2024. Одобрена 09.12.2024. Доступна онлайн 31.12.2024

¹*автор корреспонденции

Введение

В соответствии с поставленными целями и вытекающими из них задачами экспериментальные исследования в работе планировались в следующих направлениях:

- создание стендов физического моделирования, обеспечивающих изучение процессов обработки грунтов образцами экскаваторов адаптивных видов;
- исследование рабочего процесса физической модели ковша с изменением формы экскаватора режущей кромки при рытье грунтов;
- тензометрические испытания натуральных образцов ковша с изменением формы экскаватора режущего лезвия.

Метод экспериментальных исследований для исследовательских зон предусматривает использование электрического метода измерения сил и других механических величин, для которых установлены условия работы по общеизвестному методу исследования землеройных машин [1,2].

Для всех областей исследования были проведены следующие измерения:

- время процесса исследования с помощью измерителей времени, установленных на осциллографе Н-144.1;
- объем выкапываемой поверхности, определение ее качества с помощью измерительного прибора;
- прочность грунта по количеству ударов динамометра ДорНИИ по поверхности копаемой земли и соответствующей ее глубине.

Определение необходимого количества повторных опытов неизменных ситуаций [3,4] выполнялось на основе методических приемов, вытекающих из условий обеспечения заданной достоверности результатов 0,9-0,95 и возможности погрешности до 12%, изложенных в работах.

В ходе статистической обработки результатов измерений были рассчитаны среднеарифметические значения величин, дисперсий, вариационных коэффициентов [3].

Общая структура экспериментальных исследований представлена на рис. 1 в виде блок-схемы.

Принимая во внимание действие процесса суперпозиции для рабочих процессов землеройных машин, тип рабочего инструмента ковша экскаватора, поставленная задача решается в условиях лабораторий.

Методология

Программа экспериментального исследования выемки грунта рабочими, приспособленными к почвенным условиям средствами включает лабораторные исследования с моделями на стенде физического моделирования и испытания натурального опытного образца в условиях производства.

Для правильной организации экспериментальных исследований необходимо решить несколько методических задач, обеспечивающих единый подход к проведению экспериментов на всех этапах. Эти проблемы:

- подготовить общую схему проведения эксперимента;
- выбор типа почвы для проведения исследования;
- размеры исследуемых образцов и установление и обоснование линейных измерений образцов рабочего инструмента стенда физического моделирования;
- установление критериев, подвергающихся изменению и контролю в ходе исследования;
- выбор необходимых контрольно-измерительных приборов;
- подготовка условий проведения натурального эксперимента.

По показанию теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в последние годы с физическими моделями рабочих средств землеройных машин, главными факторами при разработке грунтов являются силы структурного сцепления, вязкость и масса грунта, которые характеризуются теоретическими критериями, вытекающими из условий унификации систем [5,6].

Геометрическое сходство предельного объема среды $dV \geq 200d_{\phi}$

$$V_3^M = V_3^H K_l^{-0,5} \quad (1)$$

где: k_l – коэффициент масштаба.

Линейный объем модели имеет ограниченность по пределу возможности погрешности измерений, определяемую точностью измерительной аппаратуры. В приведенной работе [6,7] пояснительная записка о том, что коэффициент масштаба для рассматриваемого варианта $k_l \leq 10$, минимальное значение определялось при использовании электрического способа измерения действующих величин и при записи их на осциллографной бумаге шлейфовым осциллографом Н-044.1 с усилителем «8 АНЧ-7М» на 120 мм.



Рисунок 1. Блок-схема экспериментальных исследований рабочего инструмента, приспособленного к почвенным условиям.

Результаты и обсуждения

Для доказательства гипотез причин снижения сопротивления рытья грунта, энергоемкости процесса и динамического коэффициента были проведены специальные экспериментальные исследования.

Для решения поставленной цели подготовлены специальные ножи периметра ковша, отражающие процесс разреза грунта под разным углом установки (рис.2). Ножи были сконструированы в виде режущей кромки периметра ковша и установлены на стенде физического моделирования (рис.3).

Определение сил сопротивления резанию грунта проводилось с помощью комплекса тензометрической аппаратуры, для чего режущая кромка устанавливалась на тензометрическую пластину стенда. Лезвие устанавливалось на сваю с помощью болтов, а его ширина составляла угол установки φ в плане φ . В ходе экспериментов изменялась длина пыжи в зависимости от угла φ . С помощью ножа, который должен был быть разрезан грунтом, и ножа, установленного под углом φ , были сопоставлены результаты.

Как было установлено на этапе теоретического анализа, снижение сил сопротивления резания почвы в результате математического моделирования эффективным способом в большинстве случаев является применение косой резки почвы [8,9].

Проведенные исследования по определению эффективности косой резки в отношении ковша экскаватора определили задачи и цели исследований. Более того, главной целью стало определение реальных возможностей применения косого разреза и физической сущности процесса. В задачу исследований входило определение количественной эффективности по снижению силовых параметров процесса рытья почвы в условиях косого разреза.

В соответствии с этим решение данного задания проводилось в следующем порядке. В качестве объекта исследования (рис.4) принят образец режущей кромки ковша экскаватора ЭО – 2621 А вместимостью 0,25 м³, выполненный в масштабе 1:10.

Модель также предусматривает замену режущей кромки ковша на традиционную конструкцию. Для подготовки эффективных углов установки режущей кромки подготовлены сменные ножи процесса резки грунта по периметру ковша с общей размерной схемой.

Исследования испытаний по изменению сопротивления резания грунта по периметру ковша экскаватора с изменением формы режущей кромки выставлялись по рототабельному плану второго порядка [10].

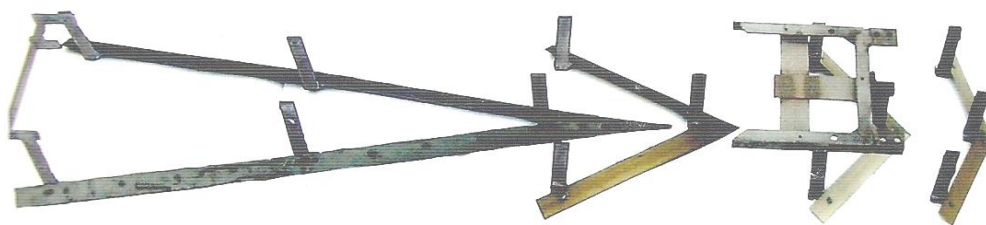


Рисунок 2. Физические модели режущей кромки периметра ковша.

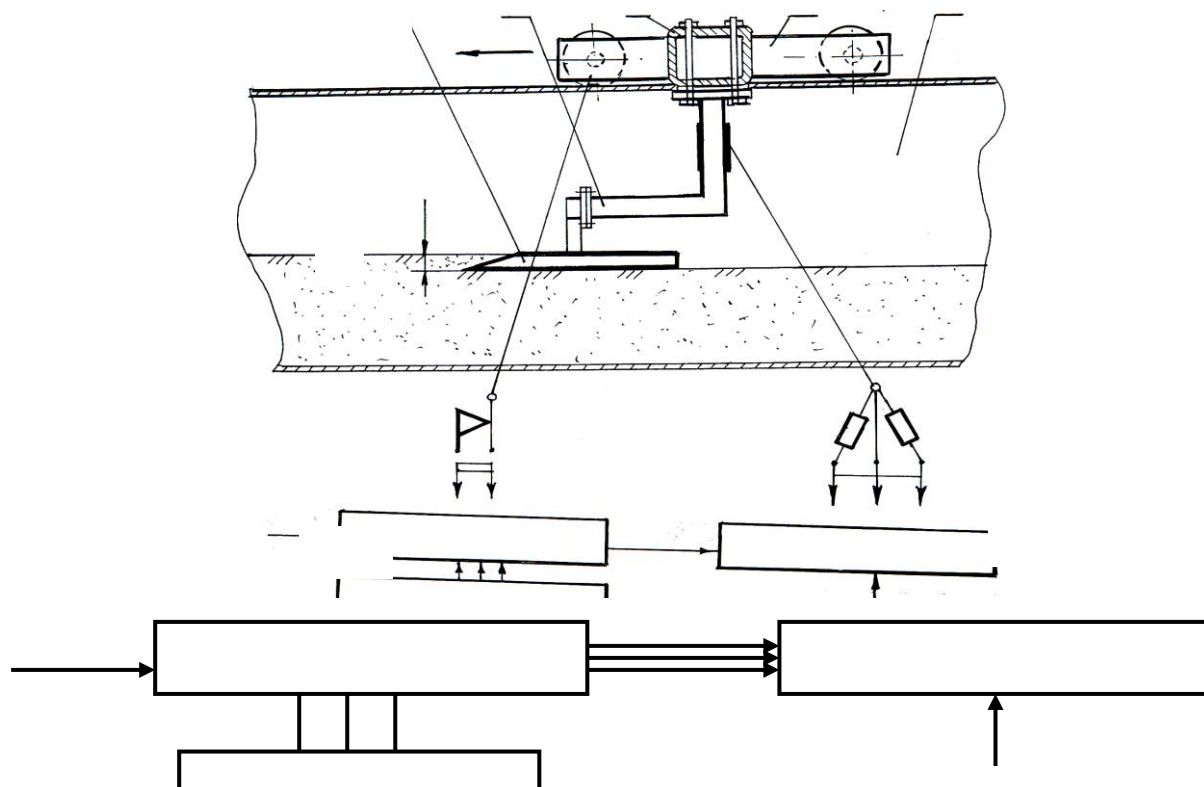


Рисунок 3. Схема стенда физического моделирования для исследования процесса разреза грунта по периметру ковша с общей измерительной схемой
1 – периметр; 2 – тензоэлемент; 3 – горизонтальная балка; 4 – тележка; 5 – грунтовый канал.

Оценивалось влияние четырех факторов, определяющих ход процесса: X_1 (φ) – угол размещения режущей кромки; X_2 (h) – толщина резки грунта; X_3 (C) – прочность грунта, оцениваемая ударом ДорНИИ; X_4 (V_p) – скорость резки грунта моделью ковшовой перметра. Факторы чередуются в достаточно широком диапазоне (табл. 1).

Таблица 1. Уровни факторов и интервалы вариаций

Факторы	Уровни факторов					межвариации
	-1	-2	0	+2	+1	
X_1 (S) – подача почвы, мм	5	10	15	20	25	5
X_2 (F_{np}) – сила предварительного сжатия пружины, Н	10	30	50	70	90	20
X_3 (H) – глубина копания, м.	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,1
X_4 (V_p) – скорость резки, м/с	0,11	0,15	0,19	0,23	0,27	0,04

В качестве оценочного признака принята горизонтальная составляющая сопротивления разреза грунта. В ходе планирования экспериментов были поставлены

следующие задачи: получение математической модели по изменению горизонтальной составляющей сопротивления резанию грунта; получение согласованных значений факторов; подготовка рекомендаций по выбору оптимальных размеров периметра, при которых изменяется форма режущей кромки ковша [10].

Матрица экспериментальных исследований для кодированных значений уровней факторов и результатов их выполнения в 2 таблице.

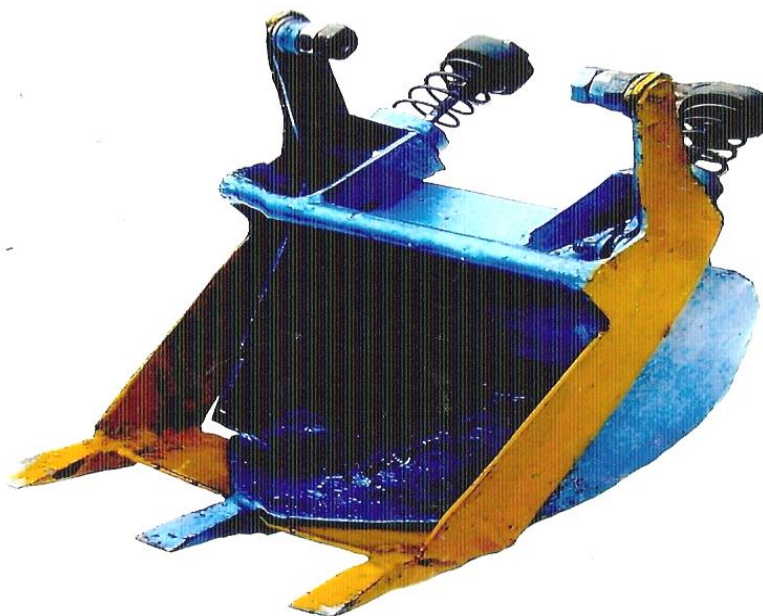
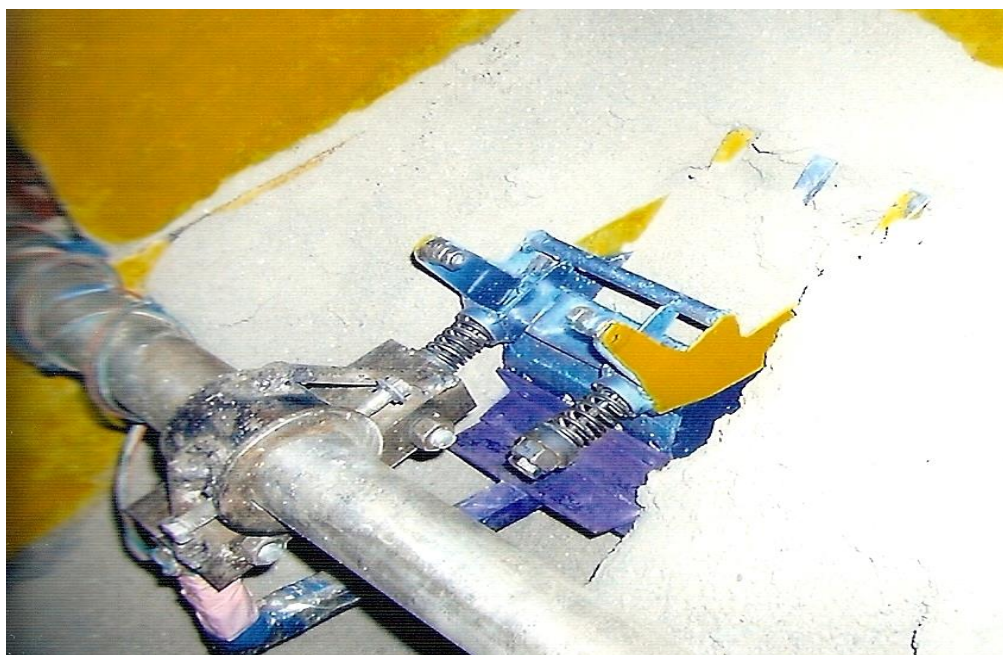


Рисунок 4. Физическая модель ковша экскаватора с изменяемой формой режущей кромки.

Таблица 2. Матрица экспериментальных исследований для кодированных значений уровней факторов и результатов их выполнения

Испытания №	Факторы				Ответы функции		
	X_1 S	X_2 $F_{пр}$	X_3 H	X_4 \varnothing_p	$P_{1'}$ H	$E_{уд'}$ кН/м ²	K_d
1	-	-	-	-	40	3,48	1,49
2	+	-	-	-	63	2,42	1,5
3	-	+	-	-	43	3,62	1,52
4	+	+	-	-	69	2,65	1,15
5	-	-	+	-	45	4,56	1,36
6	+	-	+	-	80	3,08	1,25
7	-	+	+	-	51	4,9	1,23
8	+	+	+	-	83	3,19	1,25
9	-	-	-	+	42	4,21	1,2
10	+	-	-	+	70	2,69	1,6
11	-	+	-	+	56	5,36	1,89
12	+	+	-	+	86	3,69	1,24
13	-	-	+	+	49	4,88	1,6
14	+	-	+	+	87	3,35	1,8
15	-	+	+	+	85	6,54	1,6
16	+	+	+	+	107	4,67	1,34
17	-2	0	0	0	62	7,95	1,8
18	+2	0	0	0	129	4,8	1,1
19	0	-2	0	0	83	4,26	1,75
20	0	+2	0	0	105	5,38	1,23
21	0	0	-2	0	35	1,97	1,35
22	0	0	+2	0	93	4,77	1,15
23	0	0	0	-2	43	2,21	1,26
24	0	0	0	+2	105	5,38	1,86
25	0	0	0	0	91	4,67	1,4
26	0	0	0	0	84	4,31	1,15
27	0	0	0	0	86	4,41	1,39
28	0	0	0	0	82	4,21	1,14
29	0	0	0	0	102	5,23	1,13
30	0	0	0	0	84	4,31	1,25
31	0	0	0	0	91	4,67	1,42

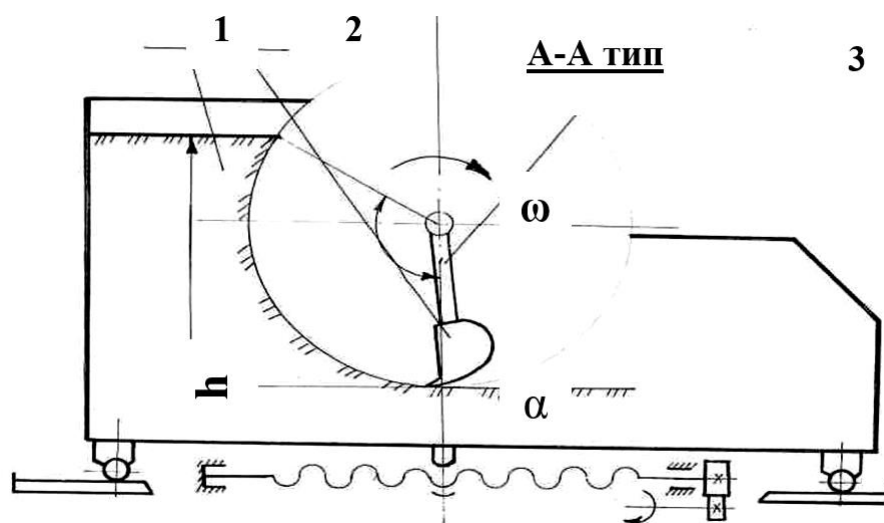


Рисунок 5. Схема физического модельного стенда для процесса разработки грунта ковшем экскаватора.

1 – контейнер с грунтом; 2 – экспериментальный ковш; 3 – тензодатчик.

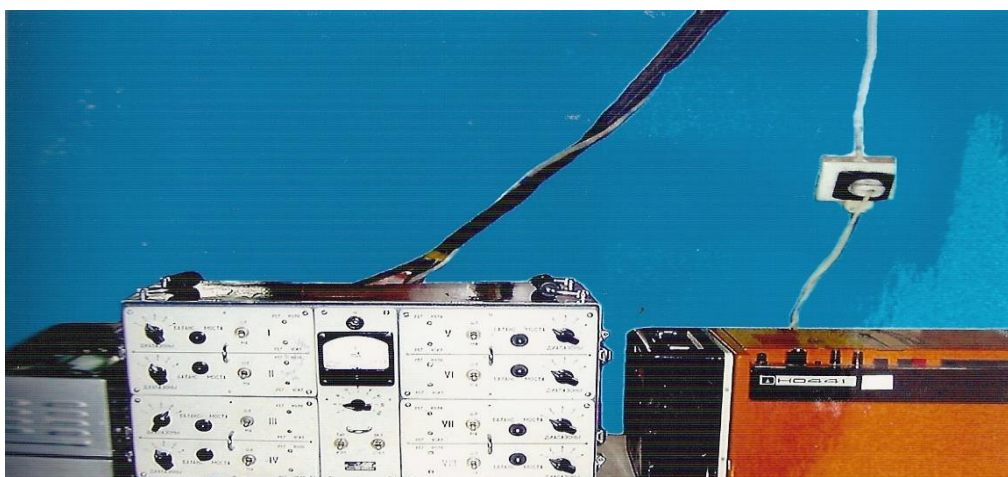


Рисунок 6. Комплект измерительной аппаратуры.

Заключение

Процесс резки грунта по периметру ковша с изменяемой режущей кромкой показан на фото (Рисунок 7).

В результате обработки экспериментальных данных обобщено и выведено регрессионное уравнение определения сопротивления резанию грунта:

$$P_n = 83,6 + 5X_1 + 22,7X_2 + 5,34X_3 + 6,83X_1^2, \quad (2)$$

Связь исследуемых факторов с R_p представлена на рис. 7 и 8. R_p 2,8 за счет увеличения толщины срезаемого грунта от 2 до 6 см... увеличивается до 4,3 раза. По показанию графика, в связи с ростом прочности грунта темпы роста R_p снижаются с 50 до 20%. Изменение угла режущей кромки от 0 до 45° обеспечивает снижение горизонтальной составляющей сопротивления резанию грунта до 20%, а затем увеличивается за счет параболической зависимости. Угол режущего лезвия считается совместимым с 45°. В исследуемых пределах скорость резания не способствует изменению сопротивления резания грунта.



Рисунок 7. Физическая модель режущей кромки периметра ковша.

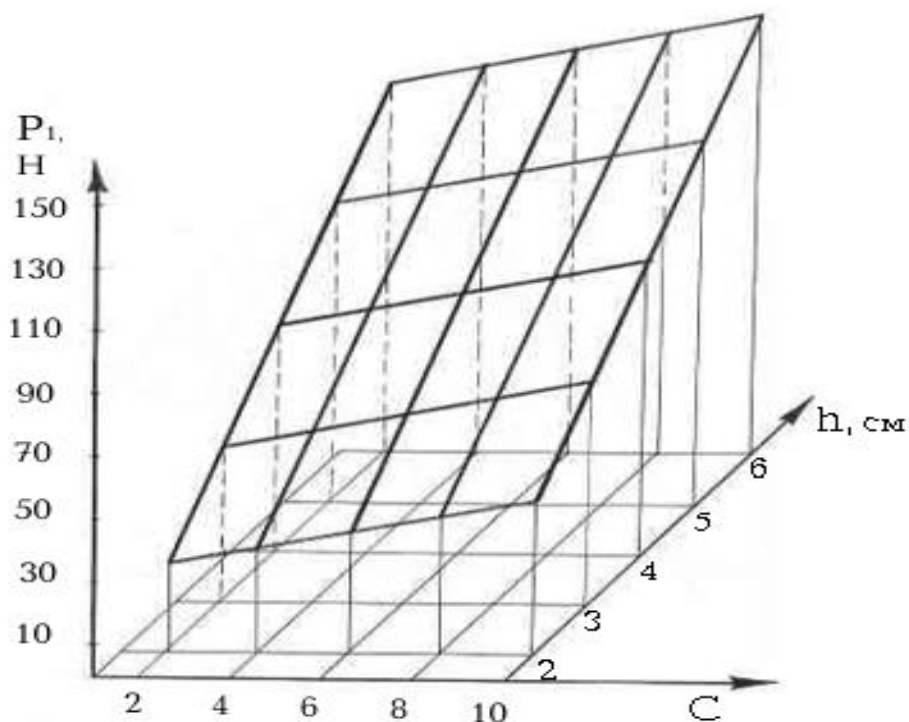


Рисунок 8. Изменение силы сдвига в зависимости от глубины грунта (h) и прочности грунта (C) при установке режущей кромки под углом 45° .

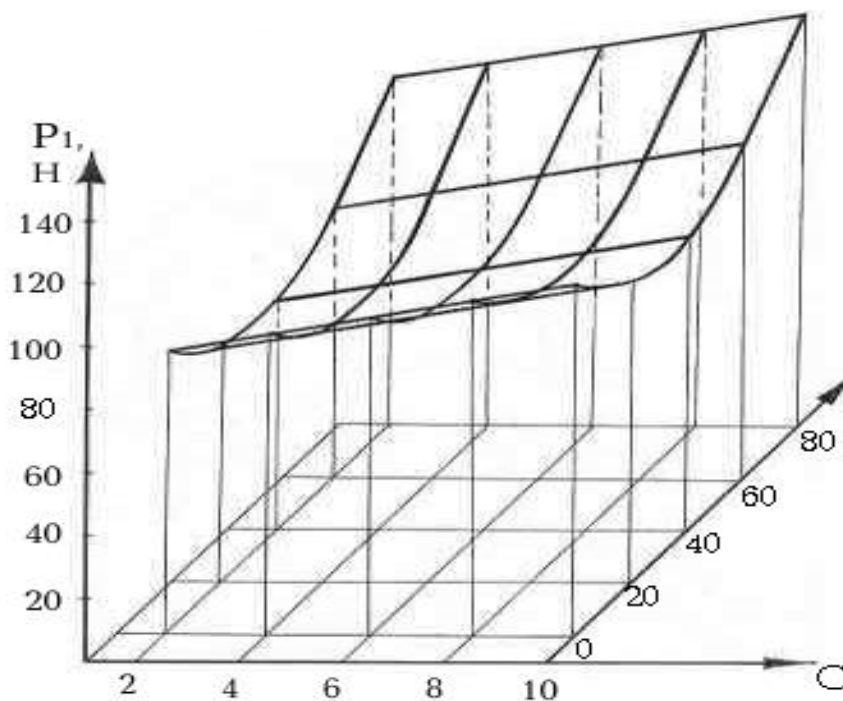


Рисунок 9. Изменение силы резания в зависимости от угла установки режущей кромки (φ) и прочности грунта (C) на глубине $h = 4$ см.

Список литературы

1. Королев А.В. Рациональная работа гидравлических экскаваторов с обратной лопатой // Строительные и дорожные машины, 2001. №4. С.9-11.
2. Дуйсебаев Ж.А., Мырзашев С.М., Абдигалиев М.А. Теоретическое обоснование параметра ковша с самоприспосабливающейся режущей кромкой // Вестник КазГАСА. № 4(22). 2006 г. С.69-74.
3. Волобоев В.Г. Методологические основы обоснования параметров элементов рабочего оборудования землеройных и землеройно-транспортных машин / В. Г. Волобоев. – Омск: СибАДИ, 2002. – 168 с.
4. Воронов Ю.Е. Решение задачи оптимизации параметров карьерных одноковшовых экскаваторов / Ю.Е. Воронов, П.А. Зыков // Изв. вузов. Горный журнал. – 2012. – № 8. - С. 12–15.
5. Zhambyl Duisebayev, Anuarbek Aimen, Berikbay Orazaliyev, Umirzhan Kokayev, Raigul Toxambayeva. Improving Efficiency of Earthworks in Hydraulic Engineering Construction Civil Engineering and Architecture 10(7): 3097-3109, 2022
6. Пенчук В.А., Линник И.И., Пенчук В.В. Особенности эксплуатации и модернизации машин для земляных работ // Строительные и дорожные машины. 2001. №5. С.16-18.
7. Мырзашев С., Абдигалиев М., Дуйсебаев Ж.А. Классификация РО ЗМ по форме режущей кромки // Вестник НАН РК. Алматы, 2004. С. 145-150.
8. Дуйсебаев Ж.А., Мырзашев С.М., Абдигалиев М.А. Исследование рабочего процесса бульдозера ДЗ-42 с самоизменяемым углом резания отвала // Вестник КазНТУ. № 1 (57). 2007 г. С. 75-78.
9. Герасимова Т.А. Исследование и совершенствование методов проектных расчетов несущих конструкций экскаваторов: дис. ... канд. техн. наук / Т.А. Герасимова. - Красноярск, 2005. 143 с.
10. Дуданов И.В. Автоматизация исполнительных систем гидравлического экскаватора: дис. ... канд. тех. наук / И.В. Дуданов. - Самара, 2008, - 215 с.
11. Насонов М.Ю. Оценка долговечности несущих металлоконструкций одноковшовых экскаваторов при разработке взорванных горных пород: дис. ... д-ра техн. наук / М.Ю. Насонов. – Кемерово, 2009. – 324 с.
12. Шестаков В.С., Хорошавин С.А. Определение параметров экскаватора с рабочим оборудованием «прямая лопата» при эскизном проектировании // Горное оборудование и электромеханика. - № 9. – 2012, С. 30-36.

Ж.А. Дуйсебаев¹, Б.А. Алимбаев², У.Ш. Коқаев³, С.О. Торбекова³

^{1,2}М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз, Қазақстан

³Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Гидротехникалық құрылыстағы жер жұмыстарының тиімділігін көтеруге бағытталған, экскаватордың жұмысшы аспабын эксперименталдық зерттеулер әдістемесі

Андатпа. Мақалада гидротехникалық құрылыста жер жұмыстарының тиімділігін арттыруға бағытталған экскаватордың жұмыс құралын эксперименттік зерттеу әдістемесі келтірілген. Априорлық ақпарат пен іздеу эксперименттері негізінде зерттеу бағдарламасы мен әдістемесі орындалды, факторлардың өзі, олардың деңгейлері мен факторлардың өзгеру аралықтары анықталды, физикалық модельдеу және табиғи зерттеулер эксперименттерінің нәтижелерін жоспарлау және өңдеу матрицалары құрылды.

Зертханалық зерттеулер үшін қолданыстағы топырақ арнасы пайдаланылды. Болашақ ауқымды зерттеулер үшін кинематикалық және технологиялық параметрлердің кеңейтілген диапазоны бар жаңа сақиналы топырақ арнасы және жаңа жұмыс органдары мен олардың элементтерін физикалық модельдеуге арналған стендтер жасалды. Масштабты негіздей отырып, жаңа жұмыс органдарының модельдері, арнайы тензометриялық арба, физикалық модельдеу процестерінің параметрлерін өлшеуге арналған тензометриялық буындар, даладағы жұмыс органдарының, жабдықтар мен машиналардың заттай үлгілерін зерттеуге арналған тензопальцтар жасалды және сыналды.

Физикалық модельдеу стендіндегі шөмішпен жүргізілген эксперименттердің нәтижелері жерді беру функциясындағы өздігінен өзгертін жиек пішіні S бар топырақты қазу процесінің энергия сыйымдылығының келесідей графикалық тәуелділіктерін алуға мүмкіндік берді: серіппесінің алдын ала қысу күші F_{np} , қазу тереңдігі h және кесу жылдамдығы v_r . Осы шелек үшін жүргізілген минималды оңтайландыру топырақты қазудың энергия сыйымдылығы бойынша ең үлкен тиімділікке айнымалы факторлардың келесі мәндерінде қол жеткізуге болатындығын көрсетті: топырақты беру $s=5$ мм; қазу тереңдігі $h=0,3-0,5$ м; кесу жылдамдығы $v_r=0,13 - 0,17$ м/с және серіппені алдын-ала қысу күші $F=30-50$ Н.

Түйін сөздер: грунтты өңдеу, экскаватор үлгілері, зерттеу аймақтары, жұмысшы процесс, кескіш ернеуі, ожау, жер қазғыш машиналар, гидротехникалық құрылыс.

Z.A.Duisebayev¹, B.A.Alimbayev², O.Kokayev³, S.Torebekova³

^{1,2} *M.Kh.Dulaty Taraz Regional university, Taraz, Kazakhstan*

³ *L.N.Gumilyov Eurasian National University*

The methodology of experimental studies of the excavator working tool aimed at improving the efficiency of excavation in hydraulic engineering

Abstract. The article provides a methodology of experimental studies of the working tool of an excavator, aimed at improving the efficiency of earthworks in hydraulic engineering construction. Based on a priori information and research experiments, the program and methodology of research are defined, the factors themselves, their levels and intervals of variable factors, The planning and processing matrices of physical modelling experiments and field studies have been created.

For laboratory studies, an existing ground channel is used. For future extensive studies, a new annular ground channel with an extended range of cinematic and technological parameters and stands for the physical simulation of new working organs and their elements have been created. New working organ models with scale justification, special tensometric trolley, tensometric links for measuring the parameters of physical modelling processes, tensofingers – for studying the real samples of working organs, field equipment and machines.

The results of experiments with a bucket on a physical modelling stand allowed to obtain graphical dependence of energy intensity E of the digging process with self-changing shape of the edge in the function of ground supply S , the pre-compression force of the spring F_{np} , depth of dig h and cutting speed v_r . The minimum optimization performed for this bucket showed that the greatest efficiency in terms of energy consumption of digging the soil can be achieved with the following values of variable factors:

feed of soil $S = 5$ mm; depth of digging $h = 0.3... 0.5$ m; cutting speed $v_p = 0.13... 0.17$ m/s and spring pre-compression force $F = 30...50$ N.

Keywords: soil treatment, excavator samples, research areas, workflow, cutting edge, bucket, earthmoving machines, hydraulic engineering.

Информация об авторах:

Дүйсебаев Жамбыл Амангельдиевич – докторант специальности 8D07411-«Гидротехническое строительство и сооружения», Таразский региональный университет имени М.Х.Дулати, Тараз, Казахстан.

Алимбаев Базартай Алимбаевич – доктор технических наук, профессор, Таразский региональный университет имени М.Х.Дулати, Тараз, Казахстан.

Кокаев Умиржан Шералиевич – к.т.н., доцент, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.

Төребекова Сымбат Орынбековна – докторант специальности 8D07113 «Транспорт, транспортная техника и технологии», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.

Дүйсебаев Жамбыл Амангелдіұлы – М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университетінің 8D07411- «Гидротехникалық құрылыс және құрылымдар» мамандығының докторанты, Тараз, Қазақстан.

Алимбаев Базартай Алимбаевич – техника ғылымдарының докторы, профессор, М.Х.Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз, Қазақстан.

Кокаев Умиржан Шералиевич – техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан.

Төребекова Сымбат Орынбекқызы – Л. Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің, «Көлік, көлік техникасы және технологиялары» мамандығының докторанты, Астана, Қазақстан.

Zhambyl Duisebayev – doctoral student of the educational program 8D07411-«Hydraulic engineering and structures», M.H. Dulati Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan.

Alimbayev Bazartay – doktor of Technical Sciences, PhD, Professor of the Department of Mechanics, M.H. Dulati Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan.

Kokayev Umirzhan – candidate of technical sciences, docent, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

Torebekova Symbat – doctoral student of the educational program 8D07113 – «Transport, transport technique and technologies», L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.



Copyright: © 2024 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 70.17.55

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-149-4-202-214>

Научная статья

Микроклимат параметрлерін кластеризациялау: әдістер мен математикалық сипаттамалар

Дауренбаева Н.А.¹, Нұрланұлы А.², Атымтаева Л.Б.³, Быков А.А.¹,
Ергалиев Д.С.², Әбдірашев Ө.К.*⁴

¹Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті

²Азаматтық авиация академиясы

³Сүлеймен Демирел атындағы университеті

⁴Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

(E-mail: ¹omeke_92@mail.ru)

Аңдатпа. Қазіргі уақытта микроклимат параметрлерін бақылау және талдау өндіріс, экологиялық зерттеулер және ғимараттарды басқаруды қоса алғанда, әртүрлі салаларда маңызды рөл атқарады. Микроклимат параметрлері – температура, ылғалдылық, ауа қысымы және басқа физикалық көрсеткіштер-өндіріс процестерінің тиімділігі мен өнім сапасын анықтауда үлкен маңызға ие. Үлкен көлемдегі деректермен жұмыс істеу кезінде, әсіресе көптеген өлшемдер мен параметрлері бар микроклиматтық деректерді талдау кезінде кластерлеу әдістері ерекше маңызға ие болады. Кластерлеу - бұл олардың арасындағы ұқсастықтар мен айырмашылықтарға негізделген деректерді топтарға немесе кластерлерге бөлу процесі. K-Means және DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) сияқты әдістер деректердегі ауытқуларды анықтауға және жүйенің бұзылуын немесе бұзылуын анықтауға көмектеседі.

Бұл мақалада микроклимат параметрлерін кластеризациялау үшін қолданылатын әдістер мен олардың математикалық модельдері қарастырылады. DBSCAN әдісінің ерекшеліктері мен артықшылықтары, сондай-ақ оның микроклиматтық деректердегі кластерлер мен аномалияларды анықтаудағы тиімділігі талданады. Мақалада DBSCAN әдісін қолданудың нақты мысалдары келтіріледі, оның көмегімен микроклимат параметрлерін тиімді талдау мен басқару үшін математикалық формулалар мен есептеулер ұсынылады.

Кластеризация әдістерінің математикалық негіздері мен олардың микроклимат параметрлерін талдаудағы рөлі туралы түсініктерді тереңдету арқылы, біз микроклиматтық жүйелерді басқару мен оңтайландыруда жаңа тәсілдер мен шешімдерді ұсынуға ұмтыламыз.

Түйін сөздер: Микроклимат, кластерлеу, DBSCAN, VAE, K-means, аномалияларды анықтау, машиналық оқыту, микроклиматтық параметрлер, тығыздыққа негізделген кластерлеу, деректерді талдау, ақауларды анықтау.

Түсті 06.11.2024. Жөнделді 06.11.2024. Мақұлданды 13.11.2024. Онлайн қолжетімді 31.12.2024

*хат хабар үшін авторы

Кіріспе

Микроклимат параметрлерін бақылау мен талдау қазіргі таңда өндіріс, экология және тұрмыстық жағдайлар сияқты көптеген салаларда маңызды рөл атқарады. Микроклиматтың негізгі параметрлері, мысалы, температура, ылғалдылық, ауа қысымы және т.б., қоршаған ортаның жай-күйін және жүйелердің жұмысын тиімді басқаруға мүмкіндік береді. Бұл параметрлерді дұрыс талдау үшін машиналық оқыту әдістері, соның ішінде кластеризация алгоритмдері кеңінен қолданылады.

Мақсат: Бұл жұмыстың мақсаты – микроклимат параметрлерін талдау үшін K-means және DBSCAN кластеризация әдістерін қолдану арқылы жүйедегі аномалияларды анықтау және алынған нәтижелер негізінде микроклиматты тиімді басқару жолдарын ұсыну.

Талдаудың басында микроклимат деректері өңдеу кезеңінен өтеді. Өткізіп алған мәндерді толтыру үшін деректердің үздіксіздігін қамтамасыз ете отырып, өткізіп алған мәндерді соңғы белгілі мәнмен толтыратын тікелей сүзу әдісі қолданылады. Z-бағалау орташадан үш стандартты ауытқудан асатын шығарындыларды жою үшін қолданылады:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

мұндағы X – белгінің мәні, μ – белгінің орташа мәні, σ – стандартты ауытқу.

Сондай-ақ, деректер RobustScaler (квартильаралық масштабқа сәйкес масштабтау) және StandardScaler (орташа мәнді алып тастау және бірлік дисперсияға келтіру) [2] көмегімен масштабталады, бұл шығарындылардың әсерін азайтады және деректерді стандартты қалыпты үлестіруге әкеледі.

Болашақта деректердің өлшемін азайту және олардың жасырын көріністерін алу үшін вариациялық автоэнкодер қолданылады. Кодер ReLU белсендіру функциясы бар бірнеше жасырын қабаттардан және жасырын кеңістіктегі қалыпты үлестіру параметрлерін білдіретін Z_{mean} және $Z_{\text{log var}}$ шығыс қабаттарынан тұрады. Декодер кодердің архитектурасын бейнелейді және жасырын көріністерді бастапқы белгілер кеңістігіне айналдырады. Оқудағы дифференциалдылықты қамтамасыз ету үшін градиенттерді есептеу мүмкіндігін сақтай отырып, кездейсоқ айнымалыларды модельдеуге мүмкіндік беретін репараметризация қолданылады:

$$Z = Z_{\text{mean}} + e^{0,5 \cdot Z_{\text{log-var}}} \cdot \epsilon \quad (2)$$

мұндағы ϵ – стандартты қалыпты үлестірімнің кездейсоқ шамасы.

Шығын функциясы қайта құру қатесі мен KL дивергенциясын қамтиды.

Оқу процесінде VAE Моделі тұрақты конвергенцияны қамтамасыз ету үшін Adam төмен оқу жылдамдығының оптимизаторын ($\alpha=10^{-4}$) қолдана отырып құрастырылады. Оқыту валидация үшін деректердің бір бөлігін пайдалана отырып, қалыпқа келтірілген

деректерде жүргізілді. VAE жаттығуынан кейін кластерлеу үшін қолданылатын деректердің жасырын көріністері (z_{mean}) алынады. Жасырын көріністерде кластерлеу үшін K-means $k=2$ алгоритмі қолданылып, деректерді екі негізгі кластерге бөлді.

Деректердегі ауытқуларды анықтау үшін бастапқы деректер X реконструкциясын алу үшін оқытылған VAE арқылы өткізілді, содан кейін әрбір үлгі үшін орташа квадраттық MSE қатесі есептелді. Шекті мәннен жоғары қате үлгілері (99,95-ші процентиль) ауытқулар ретінде анықталды және бөлек кластерге тағайындалды.

Кідіріс кеңістігінің жоғары өлшемді деректерін визуализациялау мақсатында t-SNE (t-distributed Stochastic Neighbor Embedding) көмегімен сызықтық емес өлшемді азайту пайдаланылды, бұл деректерді екі өлшемді кеңістікте көрсетуге мүмкіндік береді [3].

K-Means алгоритмімен біріктірілген вариациялық автоэнкодерді пайдалану микроклимат деректерін тиімді кластерлеуге және сенсорлардың дұрыс жұмыс істемеуін немесе дұрыс емес өлшемдерді көрсетуі мүмкін ауытқуларды анықтауға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл DBSCAN сияқты дәстүрлі әдістерді толықтырады және күрделі және жоғары өлшемді деректерді талдауға икемді мүмкіндіктер береді.

Қосымша зерттеулер VAE моделінің гиперпараметрлерін оңтайландыруға, нейрондық желілердің басқа архитектураларын және мүмкіндіктерін зерттеуге мүмкіндік береді. Нәтижелерді жақсарту алатын Isolation Forest (оқшауланған орман) немесе One-Class SVM (Support Vector Machine) сияқты аномалияларды анықтаудың балама әдістерін қолдану. Сондай-ақ олардың себептерін анықтау және деректердің сапасы мен микроклиматты бақылау жүйесінің сенімділігін жақсарту стратегияларын әзірлеу үшін анықталған ауытқуларға егжей-тегжейлі талдау жүргізу маңызды.

Ұсынылған нәтижелер микроклимат параметрлерін кластерлеу үшін терең оқыту әдістерін қолдану деректерді дәлірек және тиімді талдауға, жасырын құрылымдарды анықтауға және ауытқуларды анықтауға мүмкіндік беретінін көрсетеді. Бұл микроклиматты бақылау және басқару жүйелерінің сенімділігін арттыруға, сондай-ақ өнім сапасы мен қоршаған орта жағдайларын жақсартуға ықпал етеді.

Әдіснама

DBSCAN әдісі деректерді кластерлеудің қуатты құралы болып табылады, әсіресе кластерлердің пішіні алдын ала белгісіз және ерікті болуы мүмкін кезде пайдалы. Оның математикалық негізі кластерлеу кезінде нүктелердің тығыздығына сүйенеді, бұл әдісті жоғары өлшемді деректерді талдау үшін тиімді етеді.

Автоматтандырылған кластерлеу: DBSCAN кластерлердің санын алдын ала анықтауды қажет етпейді, бұл оның икемділігін және қолдану аясын кеңейтеді. Бұл әдіс деректердің ішкі құрылымын анықтауға және кластерлерді автоматты түрде айқындауға мүмкіндік береді.

Шу мен шектен тыс деректерді өңдеу: DBSCAN кластерлердің сыртында орналасқан деректер нүктелерін шу немесе шектен тыс деректер ретінде анықтайды. Бұл мүмкіндік

деректер жинау жүйелеріндегі немесе микроклимат датчиктеріндегі ақауларды анықтау үшін аса маңызды болып табылады.

Кластердің пішіні мен тығыздығына бейімделу: DBSCAN әртүрлі пішіндегі және тығыздығы өзгеше кластерлерді анықтауға қабілетті. Бұл микроклиматтық деректерде кездесетін күрделі немесе сызықтық емес кластерлердің шекараларын анықтауда маңызды рөл атқарады.

DBSCAN әдісін қолдану процесі

Аномалияларды автоматты түрде анықтау: DBSCAN микроклимат параметрлерінің кеңістігіндегі деректер нүктелерінің тығыздығына негізделген кластерлерді анықтайды. Нүктелердің басқа нүктелерден қашықтығына немесе олардың төмен тығыздығына байланысты ешбір кластерге жатпайтын нүктелер анықталады.

Шығарушыларды анықтау: DBSCAN негізгі нүктелерді (кластердің ішіндегі нүктелер) шу нүктелерінен (кластерге жатпайтын нүктелер) ажыратады. Бұл деректерді жинау жүйесіндегі ақауларды немесе микроклиматтық сенсорлардың істен шығуын көрсетуі мүмкін ауытқуларды анықтау үшін пайдалы.

Кластердің пішіні мен тығыздығына бейімделу: DBSCAN әртүрлі пішіндегі және тығыздығы әртүрлі кластерлерді анықтауға қабілетті. Бұл микроклиматтық деректерде күрделі немесе сызықтық емес кластерлердің шекараларын тиімді анықтауға мүмкіндік береді.

Аномалияларды анықтау және нәтижелерді талдау: DBSCAN әдісін қолдану арқылы микроклимат деректеріндегі кластерлер мен шу нүктелерін айқындау арқылы жүйедегі ықтимал ақауларды анықтауға болады. Нәтижелерді талдау арқылы сенсорлардың істен шығуы, параметрлердің қалыптан тыс өзгеруі немесе дұрыс өлшенбеуі сияқты мәселелер анықталады.

Ақауларды түзету және жою: Анықталған ауытқулар негізінде жабдыққа техникалық қызмет көрсету, сенсорларды калибрлеу немесе жүйенің қалыпты жұмысын қалпына келтіру сияқты түзету шаралары қабылданады.

DBSCAN алгоритмі кластерлерді нүктелердің тығыздығына қарай анықтайды. Негізгі параметрлері:

' ϵ ' (*epsilon* – ϵ): Әрбір нүкте үшін радиус, егер жақын орналасқан нүктелер осы радиус ішінде болса, олар бір кластерге жатқызылады.

' $min_{samples}$ ': Нүктенің негізгі нүкте ретінде классификациялануы үшін ерс радиусында кем дегенде болуға тиіс нүктелердің саны.

DBSCAN әдісінің математикалық тұжырымдамасы

Бізде Қысым – (P), Шық нүктесі – (D), Көмірқышқыл газ – CO₂ (C), TVOC(T) – ұшпа органикалық қосылыстар және т.б. сияқты параметрлері бар деректер жиынтығы бар делік. Біз кластерлеу үшін DBSCAN алгоритмін қолданамыз.

Қашықтықты есептеу:

Бізде (p_p, p_D, p_C, p_T) параметрлері бар және сәйкесінше екі $p \wedge q$ деректер нүктесі бар делік. Осы нүктелер арасындағы қашықтықты, мысалы, Евклидтік қашықтықты пайдаланып есептеуге болады:

$$\text{distance } (p, q) = \sqrt{(p_P - q_P)^2 + (p_D - q_D)^2 + (p_C - q_C)^2 + (p_T - q_T)^2} \quad (3)$$

Негізгі нүктелер және кластерлеу:

Қашықтықты есептеу: деректер жиынындағы нүктелердің әрбір жұбы арасындағы қашықтықты есептеңіз. Бұл барлық бірегей жұп нүктелердің тіркесімі бар массив құруды қажет етеді.

Қашықтықты есептеу және матрицаны бейнелеу

а) Жұптық қашықтықты есептеңіз

Деректер жиынындағы нүктелердің әрбір жұбы арасындағы қашықтықты есептеу үшін барлық бірегей жұптар үшін Евклидтік қашықтықты есептеу керек. Бұл қашықтық матрицасына әкеледі, мұнда әрбір жазба нүктелер мен арасындағы қашықтықты білдіреді.

Нәтижелер мен талқылау

Сізде n деректер нүктесі бар делік, қашықтық матрицасы матрица болып табылады, мұндағы:

$$D_{ij} = \sqrt{(p_iP - p_jP)^2 + (p_iD - p_jD)^2 + (p_iC - p_jC)^2 + (p_iT - p_jT)^2} \quad (4)$$

Мұндағы p_iP, p_iD, p_iC, p_iT i -ші нүктенің ерекшеліктері, p_jP, p_jD, p_jC, p_jT j -ші нүктенің ерекшеліктері. Мысалы, егер сіз келесідей үш ерекшелікті алсаңыз:

$$\begin{aligned} p_1 &= (p_1P, p_1D, p_1C, p_1T) \\ p_2 &= (p_2P, p_2D, p_2C, p_2T) \\ p_3 &= (p_3P, p_3D, p_3C, p_3T) \end{aligned} \quad (5)$$

D қашықтық матрицасы келесідей болады:

$$D = \begin{matrix} d(p_2, p_1) & d(p_1, p_2) & d(p_1, p_3) \\ d(p_3, p_1) & d(p_3, p_2) & d(p_2, p_3) \end{matrix} \quad (6)$$

Негізгі нүктелерді анықтау:

p әрбір нүкте үшін '*eps*' радиуста көршілерінің санын N_n есептеңіз. Егер бұл сандан үлкен немесе оған тең болса '*min samples*', негізгі нүкте ретінде белгілеңіз. яғни, негізгі нүкте шарттарды қанағаттандыруы керек.

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ d – өлшемді кеңістіктегі деректер нүктелерінің жиынтығы болсын және k жасалатын кластерлер саны болсын.

1. Центроидты инициализациялау: $\{c_1, c_2, \dots, c_k\}$. бастапқы центроидтар ретінде k нүктелерді X кездейсоқ таңдау.

2. Тапсырма Қадамы:

x_i әрбір деректер нүктесін ең жақын c_j центроидқа тағайындаңыз, мұндағы

$$j = \arg \min_j \sum_{x_i \in S_j} \|x_i - c_j\|^2 \quad (7)$$

3. Жаңарту Қадамы:

c_j әрбір центроидты оған тағайындалған барлық деректер нүктелерінің орташа мәні ретінде жаңартыңыз:

$$c_j = \frac{1}{S_j} \sum_{x_i \in S_j} x_i \quad c_j = \frac{1}{S_j} \sum_{x_i \in S_j} x_i \quad (8)$$

S_j – центроидқа берілген нүктелер жиыны

4. Итерация: тапсырманы қайталаңыз және конвергенцияға дейін қадамдарды жаңартыңыз.

Бізде екі ерекшелігі бар мәліметтер жиынтығы бар делік: Қысым (P) және Температура (T).

Деректерді үш кластерге $k = 3$ бөлгіміз келетін мағынаны алайық.

Баптандыру (Инициализация):

Бастапқы центроидтар ретінде кездейсоқ үш нүктені таңдаңыз.

Тапсырма қадамы:

Әрбір нүктені Евклид қашықтығына қарай ең жақын центроидқа тағайындаңыз.

Жаңарту қадамы:

Ағымдағы тапсырмалар негізінде центроидтарды қайта есептеңіз.

Итерация:

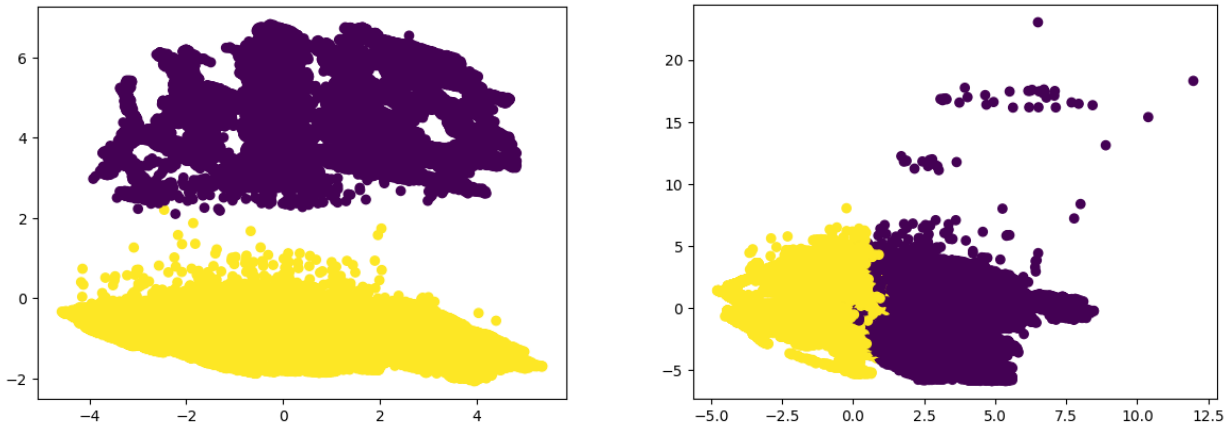
Тапсырманы қайталаңыз және конвергенция (центроидтар тұрақтанғанша) немесе итерациялардың максималды санына жеткенше қадамдарды жаңартыңыз.

Әдетте, DBSCAN-ға артықшылық беріледі: K-Means саны белгісіз немесе сызықтық емес шекаралары мен тығыздығы әр түрлі күрделі деректер құрылымдарымен жұмыс жасайтын мәліметтер жиынтығына арналған құралдар. Ол кластерлеуге икемді және автоматтандырылған тәсілді ұсынады, бұл оны нақты әлемдегі деректерді талдаудың қуатты құралына айналдырады.

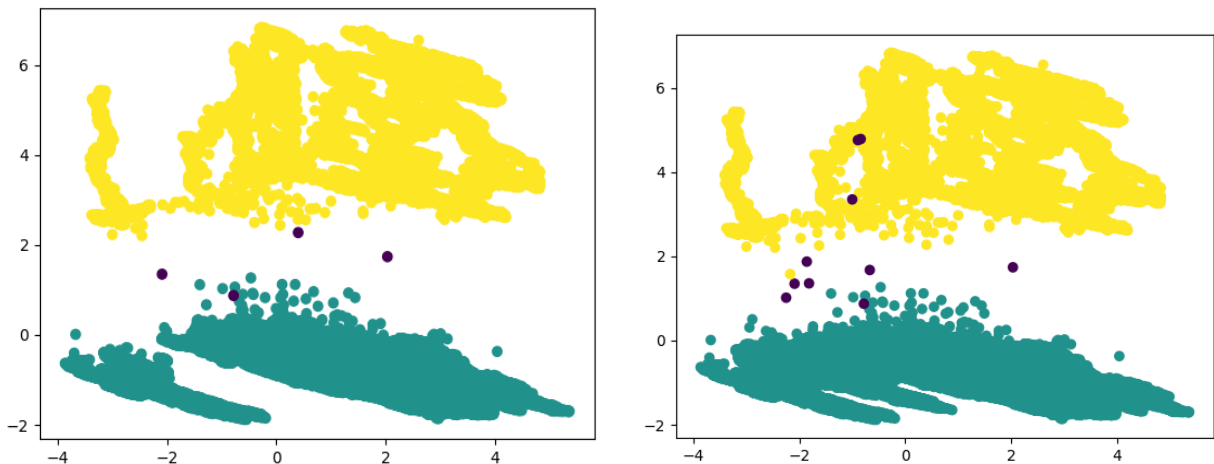
Бұл мақалада біз кластеризация әдістерінің математикалық формулаларын нақты мысалдар арқылы қарастырдық. Әрбір әдіс деректерді тиімді топтастыру үшін белгілі бір алгоритмдерді пайдаланады және нәтижелердің дәлдігі алынған кластерлердің сапасына байланысты болады. Жұмыста қолданылған әдістердің көмегімен талдау жасалып, деректердің ішкі құрылымын анықтауға және маңызды үлгілерді табуға мүмкіндік беретін нәтижелер алынды. Сонымен қатар, ұсынылған формулалар мен алгоритмдер мысалдың нәтижелілігін айқын көрсетті, бұл әдістерді болашақ зерттеулер мен нақты қолданбалы міндеттерде қолдануға болады.

Біріктірілген температура, ылғалдылық және шық нүктесі датчиктері бар note MCU негізіндегі әзірленген аппараттық кешен әрбір 10 секунд сайын тұрақты деректер жинауды қамтамасыз етеді, бұл үй-жайлар мен көшедегі климаттық жағдайларды нақты уақыт режимінде бақылауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, кешенге атмосфералық қысымды, CO₂ деңгейін, ұшпа органикалық қосылыстардың концентрациясын (TVOC), электр параметрлерін (қуат, ток, кернеу), жарық деңгейін және ультракүлгін сәулеленуді

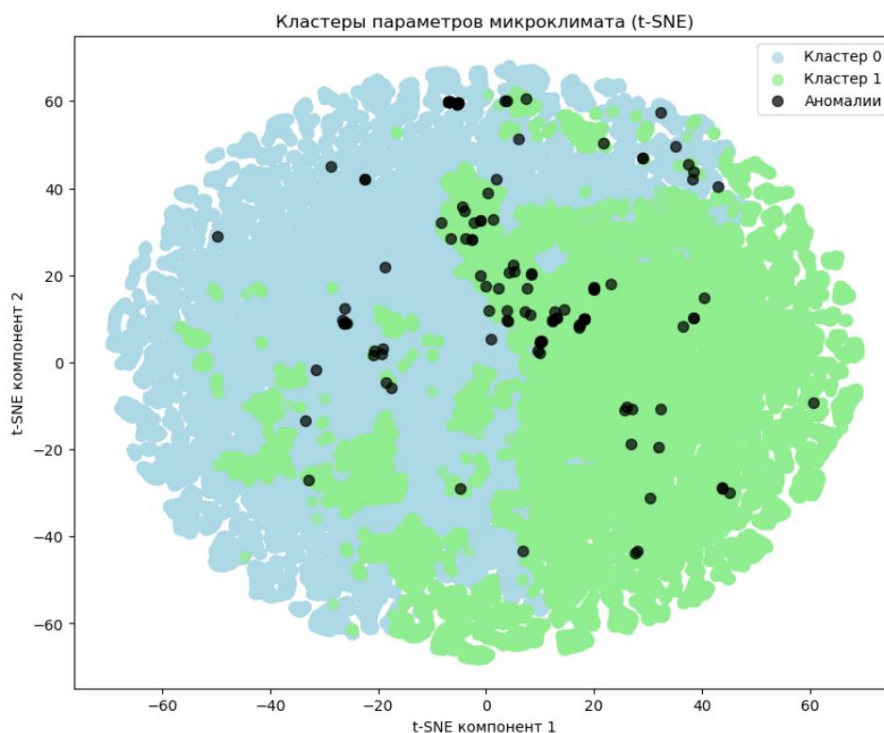
және соққыдан кейінгі белсенділік деректерін өлшеуге арналған датчиктер кіреді. Жиналған деректер климаттық факторлардың өмір сүру ыңғайлылығына және жылыту және кондиционерлеу жүйелерінің тиімділігіне әсерін одан әрі талдау үшін деректер жиынтығын құрайды.



1-сурет. Саяжай мен балабақшаға арналған K-means әдісі көмегімен кластерлеу



2-сурет. Балабақша мен саяжайға арналған DBSCAN әдісі көмегімен кластерлеу



3-сурет. K-Means алгоритмімен бірге VAE вариациялық автоэнкодерді қолдану

Жүйедегі ауытқуларды анықтау үшін машиналық оқыту және терең оқыту әдістері қолданылды: кластеризация (DBSCAN және K-means) (1, 2, 3 суреттерде Ручарт ортасында тұрғызылған графиктері көрсетілген). DBSCAN (шулы деректермен кеңістіктік кластеризациялауға негізделген алгоритм) – күрделі құрылымдары бар деректер жиынтықтарындағы ауытқуларды немесе аномалияларды анықтауға ыңғайлы, кеңінен қолданылатын кластеризация алгоритмі. K-means сияқты дәстүрлі әдістерден айырмашылығы, DBSCAN алдын ала кластерлер санын белгілеуді талап етпейді және кез келген пішін мен өлшемдегі кластерлерді автоматты түрде анықтай алады.

DBSCAN-нің басты артықшылықтарының бірі – кластерлерге жатпайтын ауытқулар мен шу нүктелерін анықтау мүмкіндігі. Алгоритм кластерлерді жоғары тығыздықтағы аймақтар ретінде анықтап, оларды төмен тығыздықтағы аймақтардан бөліп қарастырады. Бұл DBSCAN-ге тығыздықтағы өзгерістерге төзімді болып, әртүрлі пішіндер мен тығыздықтары бар деректер жиынтықтарын тиімді өңдеуге мүмкіндік береді.

Зерттеу барысында нақты уақыт режимінде микроклимат параметрлерін жинау және талдау үшін саяжай мен балабақшаға орнатылған аппараттық кешен пайдаланылды. CRISP-DM әдіснамасын қолдану деректерді өңдеу мен аномалияларды анықтауда жүйелі тәсілді қамтамасыз етті.

Микроклимат жүйесінің жұмыс режимдерін сипаттайтын негізгі кластерлерді K-means әдісі тиімді жіктегенімен, DBSCAN әдісі кластерлердің алдын ала белгіленген санынсыз, кез келген пішіндегі кластерлер мен шу нүктелерін анықтауда тиімділігін көрсетті.

Осылайша, DBSCAN әртүрлі жағдайларда микроклиматты сенімді және нақты басқару үшін оңтайлы таңдау екенін дәлелдеді, бұл оны ғимараттардағы микроклиматты басқару жүйелерінде қолданудың тиімділігін растайды. Зерттеу нәтижелері микроклиматтық бақылаудың сапасын арттыру және үй-жайларда жайлылық пен қауіпсіздікті жақсарту үшін заманауи машиналық оқыту әдістерін қолданудың маңыздылығын көрсетеді.

Қорытынды

Зерттеу барысында жүргізілген талдау көрсеткендей, DBSCAN алгоритмі микроклимат параметрлерін кластерлеу және аномалияларды анықтау барысында K-means әдісіне қарағанда бірқатар артықшылықтарға ие. DBSCAN алдын ала белгіленген кластерлер санын талап етпей, әртүрлі пішіндер мен тығыздықтағы кластерлерді дәл анықтайды. Сонымен қатар, шу нүктелерін тиімді түрде анықтау мүмкіндігі оны микроклиматты басқару жүйелерінде қолданудың тиімділігін арттырады.

K-means алгоритмі жүйенің жұмыс режимдерін жіктеуде жақсы нәтижелер көрсетті, бірақ DBSCAN әдісі аномалияларды анықтауда және деректердегі ауытқуларды зерттеуде айқын артықшылықтар ұсынады. Нәтижесінде, DBSCAN микроклиматты сенімді және дәл басқару үшін ең жақсы таңдау болып табылады.

Алдағы зерттеулер VAE моделінің гиперпараметрлерін оңтайландыруға, нейрондық желілердің әртүрлі архитектураларын қарастыруға, сондай-ақ аномалияларды анықтаудың альтернативті әдістері, мысалы, Isolation Forest немесе One-Class SVM, нәтижелерді одан әрі жақсартуға мүмкіндік береді. Аномалиялардың себептерін анықтау және микроклиматты бақылау жүйесінің сенімділігін арттыру үшін анықталған ауытқуларға терең талдау жүргізу маңызды.

Авторлардың қосқан үлесі.

Дауренбаева Н.А. – DBSCAN әдісінің ерекшеліктері мен артықшылықтары, сондай-ақ оның микроклиматтық деректердегі кластерлер мен аномалияларды анықтады.

Нұрланұлы А. – DBSCAN-нің басты артықшылықтарының бірі – кластерлерге жатпайтын ауытқулар мен шу нүктелерін анықтады.

Атымтаева Л.Б. – CRISP-DM әдіснамасын қолдану деректерді өңдеу мен аномалияларды анықтауда жүйелі тәсілді қамтамасыз етті.

Быков А.А. – DBSCAN әдісі аномалияларды анықтауда және деректердегі ауытқуларды зерттеуде айқын артықшылықтар ұсынды.

Ергалиев Д.С. – VAE моделінің гиперпараметрлерін оңтайландыруға, нейрондық желілердің әртүрлі архитектураларын қарастыруға, сондай-ақ аномалияларды анықтады.

Әбдірашев Ө.К. – DBSCAN кластеризация әдістерін қолдану арқылы жүйедегі аномалияларды анықтау және алынған нәтижелер негізінде микроклиматты тиімді басқару жолдарын ұсынды.

Әдебиеттер тізімі

1. Asperti, A., Evangelista, D., & Loli Piccolomini, E. (2021). A Survey on Variational Autoencoders from a Green AI Perspective. *SN Computer Science*, 2, 301. <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00702-9>
2. Scikit-learn. (n.d.). RobustScaler. Retrieved from <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.preprocessing.RobustScaler.html>
3. Sharma, N., & Sharma, S. (2023). Optimization of t-SNE by Tuning Perplexity for Dimensionality Reduction in NLP. In S. Kumar, S. Hiranwal, S. Purohit, & M. Prasad (Eds.), *Proceedings of the International Conference on Communication and Computational Technologies (ICCCT 2023)* (pp. 41). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-3485-0_41
4. Daurenbayeva, N., Nurlanuly, A., & Atymtayeva, L. (2023). Choosing the Intelligent Thermostats for Effective Decision Making in BEMS. In *17th International Conference on Electronics Computer and Computation (ICECCO)* (pp. 1-4).
5. Daurenbayeva, N., Nurlanuly, A., Atymtayeva, L., & Mendes, M. (2023). Survey of Applications of Machine Learning for Fault Detection, Diagnosis and Prediction in Microclimate Control Systems. *Energies*, 16, 3508.
6. Mateus, B.; Mendes, M.; Farinha, J.T.; Martins, A.B.; Cardoso, A.M. Data Analysis for Predictive Maintenance Using Time Series and Deep Learning Models—A Case Study in a Pulp Paper Industry. In *Proceedings of IncoME-VI and TEPEN 2021*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2023; pp. 11–25.
7. Osipov, A., Pleshakova, E., Bykov, A., Kuzichkin, O., Surzhik, D., Suvorov, S., Gataullin, S. Machine Learning Methods Based on Geophysical Monitoring Data in Low Time Delay Mode for Drilling Optimization. *IEEE Access* 2023, 11, 60349–60364

Дауренбаева Н.А.¹, Нұрланұлы А.², Атымтаева Л.Б.³, Быков А.А.¹, Ергалиев Д.С.²,
Абдирашев О.К.*⁴

¹Международный университет информационных технологий

²Академия гражданской авиации

³Университет имени Сулеймана Демиреля

⁴Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

(E-mail: *omeke_92@mail.ru)

Кластеризация параметров микроклимата: методы и математические характеристики

Аннотация. В настоящее время контроль и анализ параметров микроклимата играют важную роль в различных областях, включая производство, экологические исследования и управление зданиями. Параметры микроклимата-температура, влажность, давление воздуха и другие физические показатели-имеют большое значение при определении эффективности производственных процессов и качества продукции. При работе с большими объемами данных, особенно при анализе микроклиматических данных с большим количеством измерений и параметров, особое значение приобретают методы кластеризации. Кластеризация-это процесс разделения данных на группы или кластеры на основе сходств и различий между ними. Такие методы, как K-Means и DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise), помогают обнаруживать аномалии в данных и выявлять сбои или сбои в работе системы.

В этой статье рассматриваются методы, используемые для кластеризации параметров микроклимата, и их математические модели. Анализируются особенности и преимущества

метода DBSCAN, а также его эффективность в обнаружении кластеров и аномалий в данных микроклимата. В статье приводятся конкретные примеры применения метода DBSCAN, с помощью которого предлагаются математические формулы и расчеты для эффективного анализа и управления параметрами микроклимата.

Углубляя представления о математических основах методов кластеризации и их роли в анализе параметров микроклимата, мы стремимся предложить новые подходы и решения в управлении и оптимизации микроклиматических систем.

Ключевые слова: Микроклимат, кластеризация, DBSCAN, VAE, K-means, обнаружение аномалий, машинное обучение, параметры микроклимата, кластеризация на основе плотности, анализ данных, обнаружение аномалии.

Daurenbayeva N.A.¹, Nurlanuly A.², Atymtaeva L.B.³, Bykov A.A.¹, Yergaliyev D.S.³,
Abdirashev O.K.*⁴

¹International University of Information Technologies

²Academy of Civil Aviation

³Suleyman Demirel University

⁴L.N. Gumilyov Eurasian National University

(E-mail: *omeke_92@mail.ru)

Clustering of microclimate parameters: methods and mathematical characteristics

Abstract. Currently, the control and analysis of the parameters of the microclimate plays a particularly important role in various fields, including production, laboratory work and Environmental Research. Microclimate parameters — temperature, humidity, air pressure and other physical indicators—are of great importance in determining the efficiency of production processes and product quality.

When working with large amounts of data, especially when analyzing microclimatic data, which is characterized by a large number of dimensions and parameters, clustering methods acquire particular importance. Clustering is the process of dividing data into groups or clusters based on similarities and differences within them. Such methods, including such as DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise), can help detect anomalies in the data and detect malfunctions or violations in the operation of the system.

This article discusses the methods used for clustering microclimate parameters and their mathematical models. The features and advantages of the DBSCAN method are analyzed, as well as its effectiveness in identifying clusters and anomalies in microclimatic data. The article will give specific examples of using the DBSCAN method, with the help of which mathematical formulas and calculations are proposed for the effective analysis and management of microclimate parameters.

By deepening the understanding of the mathematical foundations of clustering methods and their role in the analysis of microclimate parameters, we strive to offer new approaches and solutions in the management and optimization of microclimate systems.

Keywords: microclimate, clustering, DBSCAN, VAE, K-means, anomaly detection, machine learning, microclimate parameters, density-based clustering, data analysis, fault detection.

References

1. Asperti, A., Evangelista, D., & Loli Piccolomini, E. (2021). A Survey on Variational Autoencoders from a Green AI Perspective. *SN Computer Science*, 2, 301. <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00702-9>
2. Scikit-learn. (n.d.). RobustScaler. Retrieved from <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.preprocessing.RobustScaler.html>
3. Sharma, N., & Sharma, S. (2023). Optimization of t-SNE by Tuning Perplexity for Dimensionality Reduction in NLP. In S. Kumar, S. Hiranwal, S. Purohit, & M. Prasad (Eds.), *Proceedings of the International Conference on Communication and Computational Technologies (ICCCT 2023)* (pp. 41). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-3485-0_41
4. Daurenbayeva, N., Nurlanuly, A., & Atymtayeva, L. (2023). Choosing the Intelligent Thermostats for Effective Decision Making in BEMS. In *17th International Conference on Electronics Computer and Computation (ICECCO)* (pp. 1-4).
5. Daurenbayeva, N., Nurlanuly, A., Atymtayeva, L., & Mendes, M. (2023). Survey of Applications of Machine Learning for Fault Detection, Diagnosis and Prediction in Microclimate Control Systems. *Energies*, 16, 3508.
6. Mateus, B.; Mendes, M.; Farinha, J.T.; Martins, A.B.; Cardoso, A.M. Data Analysis for Predictive Maintenance Using Time Series and Deep Learning Models – A Case Study in a Pulp Paper Industry. In *Proceedings of IncoME-VI and TEPEN 2021*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2023; pp. 11–25.
7. Osipov, A., Pleshakova, E., Bykov, A., Kuzichkin, O., Surzhik, D., Suvorov, S., Gataullin, S. Machine Learning Methods Based on Geophysical Monitoring Data in Low Time Delay Mode for Drilling Optimization. *IEEE Access* 2023, 11, 60349–60364

Авторлар туралы мәлімет:

Н.А. Дауренбаева – докторант, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, (ХАТУ), «компьютерлік инженерия» кафедрасының сениор лекторы, Манас көшесі, 34/1, 050040, Алматы, Қазақстан, n.daurenbayeva@iitu.edu.kz

А. Нұрланұлы – докторант, техника ғылымдарының магистрі, Азаматтық авиация академиясы, авиациялық техника және технологиялар кафедрасының сениор лекторы, Ахметов көшесі 44, 050039, Алматы, Қазақстан, a.nurlanuly@agakaz.kz

Л.Б. Атымтаева – физика-математика ғылымдарының докторы, доцент, SDU University, ақпараттық жүйелер кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Абылайхан 1/1, 040000, Қаскелең қ., Қазақстан., lyazzat.atymtayeva@sdu.edu.kz

А.А. Быков – техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, (ХАТУ), «компьютерлік инженерия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Манас көшесі, 34/1, 050040, Алматы, Қазақстан, Bykov_a_a@list.ru

Д.С. Ергалиев – «авиациялық техника және технологиялар» кафедрасының профессоры, Азаматтық Авиация Академиясы, Ахметов көшесі 44, Алматы, Қазақстан, 8-701-749-58-54, des-67@yandex.kz

Ө.К. Әбдірашев – «ғарыштық техника және технологиялар» кафедрасының доцент м.а., PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтбаев көшесі 2, Астана, Қазақстан, 8-702-682-16-92, omeke_92@mail.ru

Н.А. Дауренбаева – докторант, магистр, Международный университет информационных технологий (МУИТ), сениор лектор кафедры «Компьютерная инженерия», Манаса 34/1, 050040, Алматы, Казахстан, n.daurenbayeva@iitu.edu.kz

А.Нұрланұлы – докторант, магистр технических наук, Академия гражданской авиаций (АГА), сениор лектор кафедры «Авиационная техника и технология», Ахметова 44, 050039, Алматы, Қазақстан. a.nurlanuly@agakaz.kz

Л.Б.Атымтаева – Доктор физико -математических наук, доцент, ассоциированный профессор кафедры Информационных систем SDU University, Аблайхана 1/1, 040000, г Каскелен, Казахстан, lyazzat.atymtayeva@sdu.edu.kz

А.А. Быков – Кандидат технических наук, доцент, Международный университет информационных технологий (МУИТ), ассоциированный профессор кафедры «Компьютерная инженерия», Манаса 34/1, 050040, Алматы, Казахстан, Bykov_a_a@list.ru

Д.С. Ергалиев – профессор кафедры «Авиационная техника и технологии», Академия Гражданской Авиации, ул. Ахметова 44, Алматы, Казахстан, 8-701-749-58-54, des-67@yandex.kz

О.К. Абдірашев – 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

N.A. Daurenbayeva – doctoral student, Master's degree, International University of Information Technology (IIT), senior Lecturer of Department of Computer Engineering, Manasa 34/1, 050040, Almaty, Kazakhstan, n.daurenbayeva@iitu.edu.kz

A. Nurlanuly – doctoral student, Master of Technical sciences, Civil Aviation Academy, senior lecturer of the Department of Aviation Engineering and Technology, Akhmetova 44, 050039, Almaty, Kazakhstan, a.nurlanuly@agakaz.kz

L.B.Atymtayeva – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Information Systems, SDU University, Ablaihan 1/1, 040000, Kaskelen, Kazakhstan, lyazzat.atymtayeva@sdu.edu.kz

A.A. Bykov – Candidate of Technical Sciences, International University of Information Technology (IIT), Associate Professor, Department of Computer Engineering Manasa 34/1, 050040, Almaty, Kazakhstan, Bykov_a_a@list.ru

D.S. Yergaliev – Professor of the Department of Aviation Engineering and Technology, Academy of Civil Aviation, st. Akhmetova 44, Almaty, Kazakhstan, 8-701-749-58-54, des-67@yandex.kz

O.K. 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



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 67.25.03

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-149-4-215-230>

научная статья

Основные проблемы градостроительного планирования города Астаны (в контексте генерального плана К.Курокавы)

А.М. Мулдағалиева*^{1,2} , С.Э. Мамедов³ , Т.Т. Мусабаяев^{1,3} , А.Н. Баракбаев^{1,2} 

¹РГП «Госградкадастр», г.Астана, Казахстан

²КазАТУ им. С.Сейфуллина, г.Астана, Казахстан

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

(E-mail: *muldagaliyeva.ainur@gmail.com)

Аннотация. Градостроительное планирование территорий неразрывно связано с социально-экономическими потребностями населения, тенденциями развития населенных пунктов, изменением численности населения, классом и статусом городов, экономической специализацией территорий. Неправильное и непродуманное градостроительное планирование неизбежно ведет к вытекающим проблемам, включая отсутствие комфортной среды жизнедеятельности населения, транспортные заторы, повышенное загрязнение атмосферного воздуха, истощение природных ресурсов, неравный доступ населения к инфраструктурным объектам и т.д. Данные проблемы формировались десятилетиями и требуют незамедлительного научно и практически обоснованного решения и формирование современной градостроительной модели развития населенного пункта. В Казахстане основным документом, регулирующим освоение и застройку территории, является генеральный план населенного пункта. Первый генплан столицы стал фундаментальным в определении планировочной структуры и текущей застройки города Астаны. Несмотря на заложенные принципы метаболизма и симбиоза в развитие главного города страны, градпроект имел уязвимые места, включая отсутствие комплексного предпроектного анализа территории, некорректную оценку темпов развития населения, диспропорции территориального освоения города и т.д. В ходе исследования применялся комплексный метод, включая сбор данных, анализ научных, литературных источников в области разработки проектной документации, проведена работа с экспертным сообществом и другими заинтересованными сторонами. На основании проведенного анализа сформированы научно обоснованные предложения разработки градпроектов в контексте города Астаны.

Ключевые слова: устойчивое развитие, урбанизация, градостроительное планирование, метаболизм, симбиоз, генеральный план, линейно-полосовая планировка, градообразующие предприятия, плотность застройки.

Поступила 06.11.2024. Доработана 08.11.2024. Одобрена 07.12.2024. Доступна онлайн 31.12.2024

Введение

Устойчивое развитие населенных пунктов и формирование комфортной среды жизнедеятельности населения является одной из наиболее приоритетных задач не только на государственном уровне, но и в международном контексте.

Современные реалии развития населенных пунктов, изменяющиеся паттерны систем расселения населения, неуправляемые быстрорастущие агломерации, где количественная составляющая преобладает над качественным эволюционированием, урбанизация и другие глобальные тренды влияют на основные вызовы перед градостроительным планированием не только в нашей стране, но и во всем мире.

Так, согласно международным прогнозам к 2050-му году порядка 70% людей будут жить в городах [1]. Это, несомненно, влияет на увеличение экономической и географической плотности, более эффективное расходование бюджетного финансирования на развитие инфраструктуры, повышение конкурентоспособности территорий и другие возможности. При этом они несут в себе сопутствующие недостатки, такие, как экологические проблемы, транспортные коллапсы, социальная сегрегация и т.д. Последние, в свою очередь, связаны с необходимостью качественного градостроительного планирования, исключения незаконной точечной застройки, формирования инклюзивной среды, а также обеспечения равного доступа к зеленым пространствам, социальной, инженерной и транспортной инфраструктуре.

Города сегодня являются ключевыми магнитами расселения населения, концентрируют в себе основные производительные силы, объекты образования и здравоохранения, культурно-бытовые объекты, а также инфраструктуру.

Все это обуславливает необходимость формирования особого современного подхода к градостроительному планированию городов.

В соответствие с отраслевым законодательством в сфере архитектуры, градостроительства и строительства основным документом, регулирующим развитие и застройку населенного пункта, является генеральный план [2].

Генеральный план определяет ключевые направления развития территории населенного пункта, включая социальную, рекреационную, производственную, инженерно-транспортную инфраструктуру с учетом природно-климатических, ретроспективных тенденций изменения территории и населения, а также прогнозируемых демографических и социально-экономических аспектов. В генплане закладываются основные градостроительные регламенты, включая функциональное зонирование территорий, определяется инфраструктурная потребность, меры по защите территорий от природных и техногенных явлений, охраны окружающей среды и улучшения экологического состояния рассматриваемой местности [2].

Проблема отсутствия устойчивого и эффективного градостроительного планирования кроется не только в непродуманном генеральном плане либо другом градпроекте, но и в отклонениях от заложенных проектных решений при его реализации, несоответствии принимаемых проектов детальной планировки вышестоящему генеральному плану и т.п.

Так, нарушения градостроительных регламентов, изменение функционального назначения территорий вразрез градпроектов, повышение плотности и этажности объектов стали привычной практикой, а проблема незаконной точечной застройки поднималась уже неоднократно в своих выступлениях Главой государства [11].

С одной стороны, административная гибкость принимаемых решений при реализации градостроительной документации может быть связана с необходимостью привлечения инвестиций, формирования новых мест приложения труда, развития территорий исходя из существующего контекста и приоритетов, ресурсных возможностей. Однако слабое градостроительное регулирование ведет к вытекающим проблемам и нехватке инфраструктуры жизнедеятельности и зеленых пространств, переуплотненной застройки, транспортных коллапсов. Кроме того, отсутствие стабильности заданного вектора территориально-пространственного освоения территорий влечет к подрыву доверия общественности к основному градостроительному проекту развития населенного пункта.

Говоря о главном городе нашей страны, можно отметить те же ключевые проблемы, присущие крупным городам, о которых было упомянуто выше и которые необходимо решать незамедлительно для того, чтобы Астана в ближайшее десятилетие не превратилась в бетонное гетто.

Генеральный план 2001 года выбран в качестве предмета исследования как основополагающий градостроительный проект, сформировавший современную планировочную структуру современной столицы. Данный градпроект функционировал до 2024 года с несколькими изменениями и дополнениями.

Генплан, разработанный под эгидой всемирно известного архитектора Кисё Куракавы, и ранее был предметом дебатов и оценки общественности, а также был рассмотрен в ряде трудов современных архитекторов и градостроителей.

Методология

В проведенном исследовании был использован ряд методов:

- 1) комплексный метод, включая:
 - сбор тематических данных, анализ научных работ, литературных источников в области разработки проектной документации;
 - системный анализ факторов формирования градостроительных документов;
 - научно-теоретическое и проектное моделирование принципов организации градостроительных проектов;
- 2) работа с экспертным сообществом и другими заинтересованными сторонами;
- 3) метод полевого исследования – изучении функциональных зон города Астаны с выездом на местность;
- 4) обобщение полученных результатов.

Обзор литературы

Так, отечественный ученый-архитектор Аманжол Шаймерденович Чиканаев отмечает, что в данном градостроительном проекте правильно заложена актуальная на сегодня задача решения взаимоотношений Города (построенной среды обитания) и Природы, нашедшая отражение в гармоничном симбиозе компонентов застройки и экосистемы столицы. Однако под сомнение поставлен концепт предусмотренного метаболизма (устойчивости и адаптивности планировочной структуры и предлагаемых решений) развития населенного пункта, отсутствие четкой системности рассматриваемых идей [3].

В.В. Тоскина в качестве проблемных аспектов градостроительного планирования города выделяет отсутствие комплексного проработанного предпроектного анализа территорий (исторического и современного), отсутствие единой градостроительной концепции перспективного развития столицы в новых социально-экономических условиях региона [4].

В контексте концепции «Справедливого города» (*Just City*), предложенной Сьюзан Файнштейн, следует рассмотреть проблемы градостроительства города Астаны, где процессы стремительной урбанизации и экономического роста сопровождаются серьезными вызовами. Среди них можно выделить социально-экономическое неравенство, нехватку доступного жилья, а также проблемы экологической устойчивости [5].

Таким образом, необходимо разобрать ключевые этапы становления города в контексте фундаментальных идей, заложенных в первый генеральный план столицы молодого суверенного государства, а также понять спорные решения развития территории города Астаны.

Описание генерального плана.

В 1997 году столица Казахстана была перенесена из города Алматы в Акмолу (ныне – Астана) (Указ Президента Республики Казахстан от 10 декабря 1997 года № 3700 «Об объявлении города Акмолы столицей Республики Казахстан») [6].

В 1998 году Главой государства объявлен международный конкурс на разработку генерального плана молодой столицы Казахстана, к участию в котором приглашены 40 кандидатов из 19 стран мира, из них 27 предоставили свои предложения. По итогам конкурса победителем был определен всемирно известный архитектор Кисё Курокава, возглавляющий компанию «Kisho Kurokawa architect & associates» [3] [10].

В основе архитектурно-градостроительной концепции генерального плана японского архитектора лежало сочетание идей симбиоза и метаболического города.

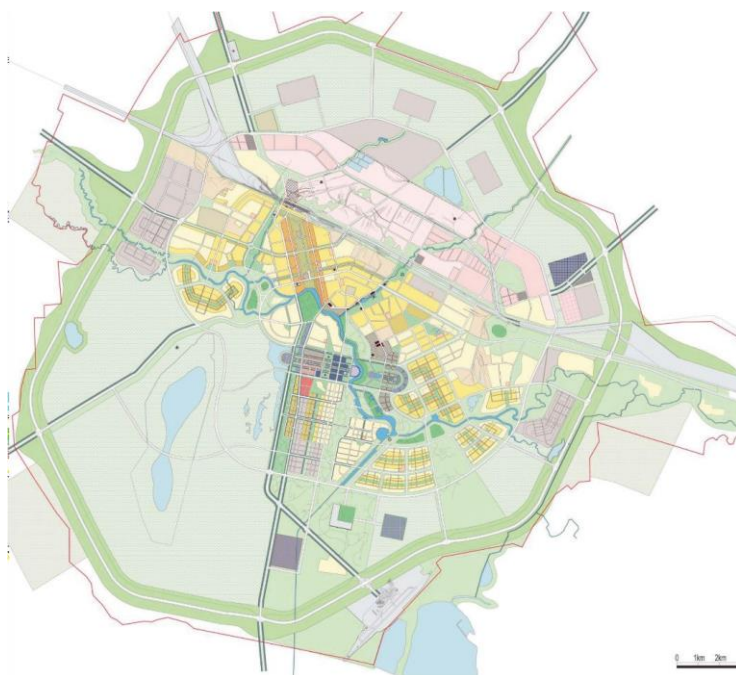


Рисунок 1. Кисё Курокава. Генплан Астаны. 2001 г.

Идея симбиоза выражалась в конкурентной борьбе города и природы. В контексте Астаны было предложено два типа симбиоза, включая симбиоз природы и антропогенной среды [3].

Учитывая природно-климатические особенности населенного пункта, архитектором было предложено разместить город между двух защитных лесополос для формирования более комфортного микроклимата [3].

Японским архитектором в качестве ключевого планировочного элемента развития города Астаны была выбрана река Ишим, а основная идея генплана заключалась в развитии населенного пункта относительного правого и левого берега указанной водной артерии. Застройка нового города была определена на левобережной территории реки Ишим [3].

Вместе с тем, предполагалось, что существующая инфраструктура будет эксплуатироваться по мере возможности, что позволит новому и старому частям города сосуществовать в полном гармоничном сочетании. Такой подход позволит сэкономить расходы на строительство объектов и инфраструктуры, а также ускорить темпы развития новой столицы.

В целом, говоря о метаболизме, следует отметить, что японские архитекторы бросили своеобразный вызов другим современным архитектурно-градостроительным течениям. Метаболисты сознательно подчеркивали искусственность и масштабы своих творений, отрывая их от земли, применяя масштабные проектные решения [7].

К примеру, предложенные метаболические города включали причудливые идеи плавучих и частично подводных органических городов (расположенных на воде, искусственных островах), городов с вертикальной ориентацией, в том числе экстремальные примеры «мегалесов» из колонн и балок, поддерживающих воздушные города (к примеру, «Город воздуха» Араты Исодзаки). Знаменитый писатель, историк и ландшафтный дизайнер Уэйд Грэхем в своей книге «Dream cities: 7 урбанистических идей, которые сформировали мир» описывает представление архитекторов о городах, которые стали основой сегодняшнего градостроительства, чтобы через жизнь этих «мечтателей и энтузиастов», их сторонников и противников не только проследить развитие окружающих нас форм, но и научиться по-новому воспринимать мир, в котором мы живем [7].

Однако ни одна из грандиозных фантазий архитекторов-метаболистов не была реализована в полной мере. Напротив, реализованные проекты были более приспособлены к реальной жизни и вписаны в существующие урбанистические районы. Таким образом, концепт метаболизма с его громкими и грандиозными решениями был достаточно противоречивым, оторванным от жизни, но на момент зарождения и развития воспринят архитектурным сообществом как глоток свежего воздуха, прогрессивный и революционный [7].

В свою очередь, смысловое содержание термина «метаболизм» в контексте градостроительства доктор К.Курокава определил как возможность адаптации, пространственного и территориального роста населенного пункта с учетом социально-экономических изменений [3].

Гармоничное сосуществование природы наряду с эффектом урбанизации рассматривается как основной принцип застройки нового города.

Город Астана, в достоящий период, как и другие города советского периода в целом, развивался по модели линейно-полосового развития, где основную доминанту играло размещение производительных сил и селитебной части населенного пункта, сложившаяся транспортная инфраструктура города.

Курокава, основываясь на идеях метаболизма, считал, что существующая линейная структура города будет способствовать устойчивому развитию населенного пункта [3].

Для того, чтобы развитие Астаны происходило планомерно и гибко, планировалось применить линейный метод (планировочного) освоения города, что позволит создать метаболический тип населенного пункта (по принципу динамического роста и изменчивости при одновременном сочетании долговременных структур с изменяемыми элементами как систем расселения, так и архитектурных ансамблей).

Заложенного в генплане идея линейного зонирования (как принцип городского планирования) была направлена на возможность адаптации к постоянному развитию города.

На момент разработки генерального плана новая столица Астана планировалась быть сформированной железнодорожными осями, проходящими с востока на запад, а также руслом реки Ишим, текущей с юго-востока на северо-запад. Система линейного города структурирована вдоль двух городских осей, идущих с востока на запад [10].

Новое зонирование включало в себя следующие зоны [10]:

Зелёная буферная зона, формируемая из северной части города;

Существующая промышленная и перспективная высокотехнологическая индустриальная зона;

Зона существующих городских районов (территория многофункционального назначения);

Речной городок и зона жилых кварталов вдоль берегов реки Ишим;

Зона Правительственного Центра (территории административного назначения с открытыми и полукрытыми для общественного доступа зонами);

Зона делового (коммерческого) центра – Бизнес-Сити;

Зона эко-леса;

Зона аэропорта.

Сочетание аспектов старого и нового города с сохранением сформировавшихся компонентов, исторически сложившихся зданий, сооружений, озеленения в существующей части города на правом берегу реки Ишим должно было подчеркнуть контраст с новостройкой на левом берегу реки.

Территория города должна быть приспособлена к дальнейшему развитию и поддержке правильного функционального баланса. Для этого существующие зоны будут расширяться линейно, а планировочные единицы могут охватывать санитарно-защитные зоны зеленых насаждений.

Заложенные планировочные оси в генеральном плане позиционируются как своеобразные оси, соединяющие Казахстан с Евразийским континентом. Существующая городская ось, берущая начало от железнодорожного вокзала, в южном направлении пересекает реку Ишим, далее будет проходить в том же южном направлении, замыкая район, где предполагалось построить новый административный центр. Такая невидимая ось позволит охватить существующий вокзал, район делового центра, а также новый Правительственный (административный) центр, связав два берега Ишима, что будет консолидировать прошлое и будущее города Астаны [3].

Учитывая особый статус города Астаны – главного населенного пункта страны, как один из компонентов метаболического города, архитектором был заложен динамичный рост населения, нашедший отражение в основных технико-экономических показателях генплана.

В свою очередь, следует отменить, что рост населения в любом городе зависит не только от естественного прироста населения, но и от разнообразных социальных процессов, миграционной привлекательности, формирования новых мест приложения труда, развития процессов урбанизации и т.д. В новых городах процесс естественного и миграционного роста населения происходит быстрыми темпами; в больших городах эти темпы быстрее из-за социально-экономических изменений.

Согласно плановой статистике, численность населения новой столицы Казахстана должна была резко возрасти за короткий период времени в связи с миграционными потоками из прежней столицы [10]. Предполагалось, что новая столица Астана примет 100-200 тысяч новых жителей и таким образом прогнозируемая численность городского населения должна была достигнуть 400-500 тысяч человек к 2005 году [10].

В дальнейшем, согласно заложенного прогноза, Астана должна была стать крупным городом с населением 600-800 тысяч жителей в 2030 году [10].

Рассматриваемый генеральный план Астаны рассчитан на создание города с хорошо сбалансированными столичными функциями и постепенным ростом населения до 800 тысяч жителей к 2030 году, а в расчете на долгую перспективу - до одного миллиона жителей [10].

В реалии за короткий период Астана сменяет категорию среднего города на крупнейшего миллионника [3]. Стремительными темпами стала увеличиваться численность населения. Если в 1997 году в городе проживало 287 тысяч человек, то через двадцать лет численность жителей достигла 1 млн., превысив заложенную в генеральном плане на 2030 год прогнозную численность населения на 200 тысяч человек [3].

Результаты и Обсуждение

Анализ генерального плана и выводы

Таким образом, изучение научных трудов в области градостроительства и территориально-пространственного развития населенных пунктов и анализ заложенных идей и практической реализации генерального плана, образовавшейся планировочной структуры в контексте города Астаны позволили провести определенную оценку и вытекающие из этого выводы.

Прежде всего, стоит отметить, что концептуальный подход метаболизма К.Курокава, когда статичным должен оставаться каркас объекта, а все остальные части структуры допускают изменимость, возможно, применим к определенным типам зданий и сооружений. Однако в градостроительном масштабе, когда в определенной степени уже сформированы архитектурные объекты в виде зданий, общественных пространств и улиц, возможны изменения незастроенных пустых пространств, которые не имеют собственников. В свою очередь, трансформация объектов практически невозможна из-за экономических аспектов развития рассматриваемых регионов.

Однако при развитии городов становится проблемным вопросом несоответствие каркасной структуры новым условиям и требованиям развития.

В частности, для Астаны в первоначальном эскизном проекте японского архитектора левобережье концентрирует медицинские и спортивные кластеры, высотную жилую и общественную застройку, торгово-развлекательные объекты, а также университетский кампус мирового уровня «Назарбаев Университет» [3].

Наблюдается тенденция, согласно которой в большей степени инфраструктуру представляют крупномасштабные «гигантские» элементы системы – ансамбли высотных жилых и офисных зданий, доминирует тематическая кластерная застройка. Вместе с тем, согласно генеральному плану «микро» и «средняя» зоны не были практически применены.

Вследствие данного подхода вытекают сопутствующие проблемы, связанные с отсутствием равномерного доступа населения к социально важным объектам и переуплотненным территориям, где сложившаяся планировочная структура города

не справляется с возросшим транспортным потоком, а инженерная инфраструктура не рассчитана на нагрузку жилых массивов.

Так, в сложившихся реалиях доминантами застройки столицы стали многоэтажные жилые комплексы как современная форма жизни, внося значительные диспропорции в территориальное развитие, негативные последствия в виде заторов, нехватки мощностей инженерных коммуникаций, повышенное загрязнение атмосферы и т.д.

В данном контексте концепция «Справедливого города» Фанштейн позволяет выявить необходимость перераспределения ресурсов, более широкого вовлечения общественности в процессы планирования и создания инклюзивной городской среды. Этот подход основывается на трёх фундаментальных принципах: справедливости, демократии и разнообразии. Эти принципы ставят под сомнение традиционные технократические и рыночно-ориентированные модели городского развития, предлагая вместо этого нормативную рамку для создания более равноправных и устойчивых городов [5].

Другим немаловажным аспектом, который следует отметить, является то, что Курокава опирался на линейно-полосовую планировочную структуру, которая была заложена задолго до него еще во всем постсоветском пространстве, данное зонирование стало основой для дальнейшего развития города [9].

В свою очередь, быстрый рост населения и потеря промышленных градообразующих предприятий показали нецелесообразность приверженности линейно-полосовой схеме территориального развития [3].

Линейно-полосовая планировка потеряла свою актуальность в процессе прекращения функционирования промышленных магнатов. В контексте Астаны **промышленность не стала градообразующим элементом городской структуры, а административные столичные функции** предопределили основные места приложения труда с активным развитием общественной сферы.

Дальнейшее развитие города-миллионника в таких условиях по линейно-полосовой системе стало нерациональным и неэффективным.

Как следствие, значительный рост населения повлиял на существенное увеличение плотности застройки.

Вместе с тем, город должен оставаться комфортным при любой численности населения с необходимостью комплексного и взаимоувязанного развития его компонентов. К примеру, важно найти идеальные параметры кварталов, наиболее подходящие для конкретных условий.

Следует отметить, еще один уязвимый аспект генерального плана, а именно отсутствие четкого архитектурно-градостроительного деления, где каждый участок разрабатывался индивидуально. В структуре города имеется более ста секторов, где каждый сектор индивидуален.

Автором градостроительного проекта не была заложена единая планировочная структура со структурированными элементами (параметры секторов, сетки улиц, кварталов и т.д.) [8]. В частности, для определенных территорий заложены крупные сектора, когда для других слишком маленькие. При этом доступность социальной и

инженерно-транспортной инфраструктуры, улично-дорожной сети также становится неравномерной.

Это ведет к затруднительным процессам проектирования секторов, отличающихся друг от друга размерами, плотностью, планировочной структурой, количеством проживающего населения и т.д. Отсутствует возможность применения единых подходов и принципов планирования территорий.

Несомненно, город – живой организм и при формировании элементов планировочной структуры есть место для определенных реверансов. Однако отсутствие четкой концепции и классификации секторов для детальной планировки – другая крайность, ведущая к вытекающим проблемам и ограничениям [8].

Анализ системы теоретических положений, составляющих основу первого генерального плана г. Астаны, позволил установить их расхождение (по темпам роста численности населения, потребности в инженерной, транспортной и социальной инфраструктуре, жилье) с реальными условиями и потребностями развития столицы, определил необходимость разработки новых концептуальных основ градостроительного развития г. Астаны.

Объективно, что проблема заключается не только в самой идее градостроительного планирования, но и в ее практической реализации. Так, ни в текстах теоретических работ К.Куракавы, ни в самом генеральном плане г. Астаны не удалось выявить системные основы идеи метаболизма [3].

Кроме того, можно отметить отсутствие четкого концепта теоретических положений философии метаболического градостроительства. В планировочной структуре города следовало выделять не линейную схему, а каркасную основу, рассчитанную на эволюционную трансформацию, обновление и изменения.

Развитие застройки во все возможные стороны является нерациональным подходом, увеличивает расходы на строительство и содержание инфраструктуры. К освоению населенного пункта следует подходить **итерационно**, где решение о дальнейшем развитии конкретных территорий следует принимать, исходя из текущих особенностей и перспектив развития региона.

Например, по мере изменения условий допускается необходимая трансформация улично-дорожной сети, внедрение скоростного транспорта и т.д. Система жизнеобеспечения и инженерная инфраструктура города должны проектироваться с возможностью наращивания мощностей, а функциональное зонирование территории необходимо разрабатывать с учетом возможности роста и развития застройки далеко за пределами рассматриваемого расчетного срока.

Кроме того, важно развивать город с учетом принципов полицентричности, где каждый полицентр является самодостаточным, а условия жизнедеятельности комфортные и не диссонируют с другими планировочными элементами. Такой подход позволяет создать равномерно расположенные центры притяжения населения с развитой инфраструктурой, распределенными потоками транспорта, загруженностью социальных учреждений, зелеными пространствами и нагрузкой на инженерную инфраструктуру. Также это обеспечит более эффективную работу коммунальных служб, повысит уровень комфорта

населения, увеличит пешие прогулки и перемещение на общественном транспорте и, следовательно, позволит снизить выбросы вредных веществ в атмосферу.

Устойчивое развитие городов возможно только в гармоничном симбиозе градостроительной документации, обладающей **метаболичностью в современном понимании**, и ее практической легитимной реализации.

Возможно предположить, что на сегодня институт генерального плана являлся недостаточно сильным, когда в угоду определенным застройщикам, инвесторам и чиновникам вносились определенные коррективы в градостроительную документацию, а иногда и вовсе без внесения легитимных изменений.

В соответствии с пунктом 5 статьи 47 Закона «Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в Республике Казахстан» генеральный план населенного пункта действует до утверждения нового генерального плана либо утверждения изменений в действующем генеральном плане в части, не противоречащей законодательству Республики Казахстан [2].

При этом, согласно пункта 4 Отраслевого закона, в утвержденный проект детальной планировки могут быть внесены изменения и дополнения не более двух раз в год, за исключением случаев, обусловленных необходимостью корректировки действующего проекта детальной планировки в целях строительства социальных, культурных и уникальных объектов за счет бюджетных средств [2].

Вместе с тем, в контексте города Астаны ежегодно порядка 400 корректировок вносилось в проекты детальной планировки без должной проработки градпроектов. При этом детальная доработка документов не проводилась, а новые объекты преимущественно в виде многоэтажек появлялись на схемах без должных перерасчетов потребности в инженерной инфраструктуре, больницах, школах и садиках.

На один и тот же земельный участок в течение года могло вноситься несколько изменений целевого назначения территорий. Зачастую такие корректировки могли узаконить уже сложившиеся отклонения от градостроительной документации. Так, стабильность и четкое понимание градостроительного вектора в таких условиях становилось утопией [12].

Освоение населенного пункта осуществлялось на красных линиях, появились территории с чрезмерной уплотняющей застройкой, объекты социальной инфраструктуры не обеспечивают потребности населения, ряд жилых массивов страдают от постоянных перебоев со светом, водой, а канализация не справляется с дождевой и талой водой. Проблемы с пробками уже стали обыденными для населения города [13].

В свою очередь, крайний генеральный план столицы принят в **текущем** году и уже поднимаются вопросы о необходимости внесения изменений в главный градостроительный проект города. При этом проекты детальной планировки с **тысячами корректировок**, принятые в реализацию старого генплана, **требуют пересмотра**.

Для решения вопроса неконтролируемой корректировки ПДП с текущего года внедрена единая градостроительная экспертиза градостроительных проектов всех уровней, в рамках которой впервые проводится проверка ПДП [2].

Необходимо подчеркнуть, что в рамках нового института градостроительной экспертизы практически не было принято новых требований к разработке и утверждению

проектов детальной планировки. Вопрос стоит только о регулировании ранее действовавших законодательных норм на практике.

Заключение

Таким образом, в данном исследовании определены уязвимые места генерального плана города Астаны 2001 года, включая:

отсутствие комплексного предпроектного анализа территории, привязки к исторической концепции;

темпы перспективного развития города (численность населения и территориальный рост) были недооценены и значительно занижены;

заложенный кластерный подход и массивная жилая застройка породили вытекающие диспропорции территориального освоения и сопутствующие экологические, транспортные и инфраструктурные проблемы.

Для решения обозначенных проблем необходимо, прежде всего, провести комплексный предпроектный анализ территории, инвестиционные потребности развития, позиционирование населенного пункта в масштабе страны и в мировом контексте, определить четкую планировочную структуру города с учетом необходимости формирования компактной застройки, типологии важнейших элементов, сложившихся и планируемых кварталов, создания полицентров и по ним формировать проекты детальной планировки с обеспечением шаговой доступности социально значимой инфраструктуры, учитывая современные реалии застройки территории.

В завершение важно отметить значимость данной работы, позволившей проанализировать уязвимые места прошлого генерального плана, а также необходимо не повторять подобные ошибки, формируя комфортный город с устойчивой планировочной структурой для людей.

Вклад авторов:

Мулдағалиева А.М., Мамедов С.Э. – концепция, методология, ресурсы, сбор данных, написание, редактирование.

Мусабаев Т.Т. – моделирование, анализ, визуализация, интерпретация, написание, редактирование.

Баракбаев А.Н. – сбор данных, редактирование.

Список литературы

1. United Nations Development Programme/ 2020 Artwork by DKNГ Studios for UNDP [Электрон. Ресурс]. – 2020. – URL:<https://featured.undp.org/the-way-we-live-now/#>
2. Закон об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в Республике Казахстан от 16 июля 2001 года № 242.
3. Чиканаев А.Ш. Генеральный план Астаны: что и почему пошло не так? – Нур-Султан, 2020. – 182с.

4. Тоскина В.В. Эволюция системы расселения и архитектурно-планировочной структуры населенных пунктов Северного Казахстана в XIX – XX вв. (на примере Акмолинской области): автореферат диссертации кандидат архитектуры – Астана, 2002. – 197 с.
5. Файнштейн С.С. Planning Theory and the City: Журнал планирования образования и исследований, 25 (2), 2005. – С. 121–130. URL: <https://doi.org/10.1177/0739456X05279275>
6. Мусина Н.К. Астана: вехи созидания столицы. Информационно-справочное издание. – Астана, 2012. – 42 с.
7. Грэхем У. Dream cities: 7 урбанистических идей, которые сформировали мир / пер. с англ. Т.О. Новиковой. – М.: Эксмо, 2018. – 288 с.
8. Янковская Ю.С. Архитектура городской среды. Образ и морфология. – Лань: Строительство и архитектура, 2024. – 248 с.
9. Милютин Н.А. и др. Творцы авангарда. – М.: Архитектура – С, 2007. – 80 с.
10. Генеральный план г. Астаны. Том II: Общая пояснительная записка ЯАМС.[Электрон.Ресурс] URL:https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11652732_04.pdf
11. Расширенное заседание Правительства под председательством Главы государства от 7 февраля 2024 года DOI: <https://www.akorda.kz/ru/glava-gosudarstva-provel-rasshirennoe-zasedanie-pravitelstva-714237>
12. Письмо Генерального Прокурора Республики Казахстан от 17 мая 2023 года № 2-01-23-39242 по уплотненной застройке городов страны DOI: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=34253893&pos=6;-106#pos=6;-106
13. Токаев провел совещание по развитию Астаны, 31 января 2023 года DOI: <https://www.zakon.kz/politika/6383032-tokaev-provel-soveshchanie-po-razvitiyu-astany.html>

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

¹«Мемқалақұрылыскадастры» РМК, Астана, Қазақстан

²«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті»

³КеАҚ Л.Н Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Астана қаласының қала құрылысының негізгі мәселелері (К.К урокаваның бас жоспары аясында)

Андатпа. Аумақтардың қала құрылысын жоспарлау халықтың әлеуметтік-экономикалық қажеттіліктерімен, елді мекендердің даму үрдістерімен, халық санының өзгеруімен, қалалардың сыныбы мен мәртебесімен, аумақтардың экономикалық мамандануымен тығыз байланысты. Дұрыс емес және ойластырылмаған қала құрылысын жоспарлау халықтың тыныс-тіршілігінің жайлы ортасының жоқтығын, көлік кептелістерін, атмосфералық ауаның жоғары ластануын, табиғи ресурстардың сарқылуын, халықтың инфрақұрылымдық объектілерге тең емес қол жеткізуін және т.б. қоса алғанда, туындайтын проблемаларға сөзсіз әкеледі. Бұл проблемалар ондаған жылдар бойы қалыптасқан және елді мекенді дамытудың қала құрылысы моделінің қазіргі заманғы моделін қалыптастыра отырып, дереу ғылыми және іс жүзінде негізделген шешуді талап етеді. Қазақстан Республикасында елді мекеннің бас жоспары аумақты

игеру мен салуды реттейтін негізгі құжат болып табылады. Қазақстан астанасының бірінші бас жоспары Астана қаласының жоспарлы құрылымы мен ағымдағы құрылысын анықтауда іргелі болды. Елдің бас қаласын дамытуда метаболизм мен симбиоздың қалыптасқан қағидаттарына қарамастан, қала жобасы осал жерлерге ие болды, соның ішінде аумақты кешенді жобалау алдындағы талдаудың жоқтығы, халықтың даму қарқынын дұрыс бағаламау, қаланы аумақтық игерудің сәйкессіздігі және т.б.

Зерттеу барысында кешенді әдіс қолданылды, оның ішінде деректерді жинау, ғылыми жұмыстарды, жобалық құжаттаманы әзірлеу саласындағы әдеби көздерді талдау, сараптамалық қоғамдастықпен және басқа да мүдделі тараптармен жұмыс жүргізілді. Жүргізілген талдау негізінде Астана қаласының контекстінде қала жобаларын әзірлеудің ғылыми негізделген ұсыныстары қалыптастырылды.

Түйін сөздер: Орнықты даму, урбанизация, қала құрылысын жоспарлау, метаболизм, симбиоз, бас жоспар, сызықтық-жолақтық жоспарлау, қала құраушы кәсіпорындар, құрылыс салу тығыздығы.

A.M. Muldagaliyeva^{1,2}, S.E. Mamedov³, T.T. Musabayev^{1,3}, A.N. Barakbayev^{1,2}

¹*RSE Gosgradkadastr, Astana, Kazakhstan*

²*S. Seifulin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan*

³*Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

Main problems of urban planning of Astana city (in the context of K. Kurokawa's master plan)

Abstract. Urban planning of territories is inextricably linked with the socio-economic needs of the population, trends in the development of settlements, changes in the population, the class and status of cities, and the economic specialization of territories. Incorrect and ill-conceived urban planning inevitably leads to ensuing problems, including the lack of a comfortable living environment for the population, transport congestion, increased air pollution, depletion of natural resources, unequal access of the population to infrastructure facilities, etc. These problems have been formed for decades and require an immediate scientific and practically reasonable solution with the formation of a modern model of urban planning model for the development of a settlement. In the Republic of Kazakhstan, the main document regulating the development and development of the territory is the master plan of the settlement. The first general plan of the capital of Kazakhstan has become fundamental in determining the planning structure and current development of the city of Astana. Despite the inherent principles of metabolism and symbiosis in the development of the country's main city, the city project had vulnerabilities, including the lack of a comprehensive pre-project analysis of the territory, an incorrect assessment of the rate of development of the population, imbalances in the territorial development of the city, etc. During the study, a comprehensive method was used, including data collection, analysis of scientific works, literary sources in the field of project documentation development, work was carried out with the expert community and other stakeholders. Based on the analysis, scientifically based proposals for the development of city projects in the context of the city of Astana were formed.

Keywords: Sustainable development, urbanization, urban planning, metabolism, symbiosis, master plan, line-strip planning, city-forming enterprises, building density.

Reference

1. 2020 United Nations Development Programme/ 2020 Artwork by DKNG Studios for UNDP [electronic resource]. – URL: <https://featured.undp.org/the-way-we-live-now/#>
2. Law on architectural, urban planning and construction activities in the Republic of Kazakhstan of July 16, 2001 No. 242.
3. Chikanaev A.Sh. The master plan of Astana: what and why went wrong? - Nur-Sultan, 2020. – 182p.
4. Toskina V.V. Evolution of the settlement system and architectural and planning structure of settlements in Northern Kazakhstan in the XIX - XX centuries (on the example of the Akmola region): abstract of the dissertation, candidate of architecture - Astana, 2002. – 197p
5. Fainstein, S. S. Planning Theory and the City: Journal of Planning Education and Research, 25(2), 2005. – 121-130p. URL: <https://doi.org/10.1177/0739456X05279275>
6. Musina N.K. Astana: milestones in the creation of the capital. Information and reference publication - Astana, 2012. - 42 p.
7. Graham W. Dream cities: 7 urban ideas that shaped the world/trans. From English T.O. Novikova. - M.: Eksmo, 2018. - 288s.
8. Yankovskaya Yu.S. Architecture of the urban environment. Image and morphology. - Doe: Construction and Architecture, 2024. - 248s.
9. N.A. Milyutin et al. Creators of the avant-garde. - M.: Architecture - S, 2007. - 80 s.
10. Master plan of Astana. Volume II: JAMA General Explanatory Note. [electronic resource]. – URL: https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11652732_04.pdf
11. Expanded meeting of the Government chaired by the Head of State of February 7, 2024 DOI: <https://www.akorda.kz/ru/glava-gosudarstva-provel-rasshirennoe-zasedanie-pravitelstva-714237>
12. Letter of the Prosecutor General of the Republic of Kazakhstan dated May 17, 2023 No. 2-01-23-39242 on the condensed development of cities in the country DOI: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=34253893&pos=6; -106 # pos = 6; -106
13. Tokayev held a meeting on the development of Astana, January 31, 2023 DOI: <https://www.zakon.kz/politika/6383032-tokayev-provel-soveshchanie-po-razvitiyu-astany.html>

Сведения об авторах:

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

Мусабаев Т.Т. – доктор технических наук, профессор, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, академик НИА РК, ул. Мангилик Ел, 8, 010000, Астана, Казахстан.

Мамедов С.Э. – PhD, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, улица Кажымукана, 13, 010000, Астана, Казахстан.

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

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

Мусабиев Т.Т. – Техника ғылымдарының докторы, профессор Л.Н Гумилев атындағы ЕҰУ, ҚР ҰИА академигі, Мәңгілік ел көшесі, 8, 010000, Астана, Қазақстан

Мамедов С.Э. – PhD докторы, Л.Н Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан 13, 010000, Астана, Қазақстан

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

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

Musabayev T.T. – Doctor of Technical Sciences, Professor of Eurasian National University named after L.N.Gumilyov, Academician of NIA RK, 8 Mangilik el str., 010000, Astana, Kazakhstan

Mamedov S.E. – PhD, Eurasian National university named after L.N.Gumilyov, Kazhymukan str. 13, 010000, Astana Kazakhstan

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



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



XҒТАР 55.22.19

Ғылыми мақала

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-149-4-231-243>

Шойын иінді білік мойнының балқыма қабатының физика-механикалық қасиеттерін зерттеу

А.С. Каржаубаев^{1b}, А.Е. Тойлыбаев*^{1b}, Г.Т. Найманова^{1b}, А.О. Казенова^{1b},
Г.Б. Асыллов^{1b}

«Мұхамеджан Тынышбаев атындағы АЛТ Университеті» АҚ, Алматы, Қазақстан

(E-mail: *asylbek.toylybaev@mail.ru)

Аңдатпа. Қазіргі кезде шет ел автокөліктерінде шойын иінді біліктері көбірек қолданылуда және оларды қалпына келтіру жоғары беріктігі бар шойынның ерекшеліктеріне қарай қиындықтар тудырады. Сондықтан, автокөліктер қозғалтқыштардың шойын иінді біліктерін қалпына келтіру әдісін дамыту қазіргі кезде өзекті міндет болып саналады. Оны шешу үшін иінді біліктерді қалпына келтірудің жоғары тиімді технологиясын жетілдіруге, сондай-ақ жоғары энергетикалық көрсеткіштермен балқымалау әдісін қолдану теориясы мен практикасы туралы ғылыми білім саласын кеңейтуге мүмкіндік береді.

Бұл мақалада темір ұнтақтары мен 15-ГСТЮЦА балқылау сымдарын доғаға енгізе отырып, шойын иінді біліктердің тозған мойындарын қалпына келтіру технологиясы ұсынылған, бұл иінді біліктердің мойындарының тозу төзімділігі мен беріктігін қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, тозған бөлшектерді қалпына келтіру тәсілдерімен салыстырып, осы технология бойынша қалпына келтірілген шойын иінді біліктердің мойындарындағы балқыма қабаттарының микроструктурасы зерттелген.

Түйін сөздер: кең қабатты балқымалау, иінді білік, микроструктура, тозу, микроқаттылық, орташа инелі мартенсит, балқымалау сымы, темір ұнтақ.

Түсті 21.11.2024. Жөнделді 21.12.2024. Мақұлданды 07.12.2024. Онлайн қолжетімді 31.12.2024

^{1*}хат-хабар үшін автор

Кіріспе

Көлік техникасын тұрақты жұмысқа қабілетті жағдайда ұстау мақсатында техниканы жөндеу және техникалық қызмет көрсету мәселелерін ұйымдасқан түрде және уақтылы шешу маңызды. Жылжымалы құрам мен технологиялық машиналар өнімді және үздіксіз жұмыс істеуі, жөндеуді ұйымдастыру тәсілдеріне байланысты болады. Бүгінгі күнгі өзекті мәселе қолданыстағы тәсілдермен жөндеу технологиялық жағынан мүмкін емес бөлшектер мен тораптарды қалпына келтіру болып табылады. Қазақстан Республикасының агроөнеркәсіптік кешенінің (ҚР АӨК) кәсіпорындарына қызмет көрсету үшін орталықтандырылған жөндеу-қалпына келтіру базаларының болмауы бұл мәселені одан әрі қиындатады.

Жөндеу өндірісінің қосалқы бөлшектермен қамтамасыз етілуі автомобиль паркінің техникалық дайындығын арттырудың басты факторы болып табылады. Жаңа қосалқы бөлшектер өндірісін кеңейту материалдық және еңбек шығындарының ұлғаюына байланысты. Сонымен бірге, автокөліктерді бірінші күрделі жөндеу кезінде жарамсыз деп танылған бөлшектердің 75% жуығы жөндеуге жарамды болып немесе мүлдем қалпына келтірмей пайдаланылуы мүмкін.

Сондықтан, автокөліктер мен олардың агрегаттарын жөндеу процесінде қалпына келтірілетін тозған бөлшектерді қайталап пайдалану қосалқы бөлшектер өндірісін кеңейтудің баламасы болып табылады. Жөндеу практикасынан белгілі болғандай, тозуы бойынша жарамсыз бөлшектердің көпшілігі бастапқы массасының 1-2% -нан аспайды.

Бұл ретте бөлшектердің беріктігі іс жүзінде сақталады. Іштен жану қозғалтқыштары бөлшектерінің 95% тозуы 0,3 мм аспайтын жарамсыз деп танылып, олар қалпына келтірілгеннен кейін екінші рет пайдаланылуы мүмкін.

Айнымалы таңбалы жүктемелер кезінде бөлшектердің қалыпты жұмыс істеу жағдайларын қамтамасыз ететін сипаттамаларға дейін балқыма қаптамаларының беріктігін арттыруға мүмкіндік беретін көптеген технологиялық шешімдер бар. Мұндай бөлшектердің қатарына иінді білік жатады. Қаптамалардың беріктік сипаттамасын арттыратын тәсілдерге термиялық, механикалық немесе термомеханикалық әсер жатады. Қаптамалардың қуыстығын азайтуға, бөлшектердің қажу кедергісін арттыруға, қаптамада қажетті кернеулерді жасауға мүмкіндік беретін тәсіл роликпен немесе шарикпен пластикалық деформациялау әдісі.

Мойынтіректердің сопақтығы, конустығы, мойынтіректердегі үлгілік технологияда көрсетілген шамалардан асатын саңылауы бар қозғалтқыштардың тозған иінді біліктері жөндеу өлшемдеріне сәйкес тегістеумен қалпына келтіріледі.

Тозған иінді біліктер мойындар өлшемі соңғы жөндеу мөлшерінен төмен болса, онда әртүрлі әдістермен қалпына келтіріледі [1,4].

Иінді біліктерді қалпына келтірудің барлық әдістерінің ішінен флюс қабаты астында автоматты балқыту кеңінен қолданылды, бұл қалпына келтірудің басқа әдістерімен салыстырғанда бірқатар артықшылықтармен түсіндіріледі.

Флюстің астында иінді біліктердің мойындарын балқымалаудың үш негізгі түрі бар:
– бұрандалы сызық бойынша балқымалау;

– балқитын электродтың көлденең тербелістерімен балқымалау (кең қабатты балқымалау);

– көп электродты балқымалау.

ГАЗ және ПАЗ автокөліктер қозғалтқыштарындағы иінді біліктер ВЧ 60-2 маркалы беріктігі жоғары шойыннан құйылып жасалған. Тозған шойын біліктер әртүрлі ортада дірілді доғалы балқымалаумен, флюс қабатының астында автоматты балқытумен, ұнтақты сымдармен, 15-ГСТЮЦА маркалы өздігінен қорғайтын сымдарды пайдалана отырып ашық доғада қалпына келтіріледі.

Бөлшектерді жаңарту үшін арнайы темір ұнтақтарымен балқымалау технологиясы әзірленіп, арнайы жабдықтар мен құрылғылар енгізілді. Иінді біліктерді қалпына келтірудің бұл тәсілінің негізгі артықшылығы – өзінің құрамы бойынша жоғары төзімді ВЧ-60-2 маркалы шойынға жақын және жарықтардың, кеуектердің және басқа да ақауларды болдырмай, жоғары тозуға төзімді қасиеттері мен физикалық-механикалық сипаттамалары бар балқытылған металл қабатын жасау болып табылады.

Қазіргі кезде иінді біліктерді қалпына келтірудің көптеген тәсілдері қолданылады: плазмалық металдандыру, дірілді доғалы балқыту, электролиттік темірлеу, ашық доғамен, қорғалған доғамен электрконтактілі балқыту, ұнтақты сыммен балқыту, жоғары жиілікті металдандыру, әртүрлі газдардың ортасында балқыту, металл қабықшамен балқыту, плазмалық балқыту және басқалар.

Бірақ олардың бәрінде бірқатар кемшіліктер бар: күрделі жабдықтар, бастапқы материалдар тапшы және балқыту сапасының төмендігі. Балқытудың барлық әдістерінің жалпы және елеулі кемшілігі бөлшектердің едәуір қызуы болып табылады, соның салдарынан қажу беріктігі төмендейді және олардың геометриясы бұрмаланады. Қажу беріктігінің төмендеуі металдың жекелеген бөліктерін жоғары температураға дейін қыздыру кезінде туындайтын созылу кернеулерінің түзілуі аустениттің мартенситке ауысуы кезінде көлемнің ұлғаюымен байланысты құрылымдық кернеулердің болуымен түсіндіріледі [3].

Иінді біліктердің геометриясының бұрмалануы олардың 2,5 мм-ге дейін қысқаруынан көрінеді және 0,3...0,4 мм -ке дейін деректер бойынша сызба бойынша рұқсат етілген өзгеріс 0,2 мм-ге дейін. Нәтижесінде білік блоктың негізгі мойынтіректеріне сәйкес келмейді, ал байланыстырушы шатун көлденең қисая алады.

Осының бәрі толық салқындатылғаннан кейін созуды жүргізу немесе шөгуді жою үшін арнайы құрылғыларды қолдану қажеттілігін туындатады. Алайда, балқытудың технологиялық процесіне ілеспе статикалық жүктемелерді немесе балқымалаудың кейінгі динамикалық жүктемелерді пайдалану қажу беріктігін төмендететін созылмалы кернеулердің пайда болуына әкеледі [6].

Біз ұсынған технология бойынша металды жоғары сапалы балқымалау қабаты қарапайым 15-ГСТЮЦА пісіру сымы мен келесі құрамдағы арнайы ұнтақ шихтасының көмегімен алынады [8]:

- күміс графит (МеСТ 5229-74) – 12...13%;
- алюминий АП-4 ұнтағы (МеСТ 10086-62) – 6...8%;
- қалғаны темір ПЖ-5м ұнтағы (МеСТ 9849-74).

15 ГЮСТЦА-ның электродты сымы құрамында 1%-ға дейін марганец, алюминий, кремний, титан бар, бұл доғаның тұрақты жануын, тігістің жақсы қалыптасуын қамтамасыз етеді және біздің міндетіміз қалпына келтірілетін бөлшектің механикалық қасиеттерін – олардың атқаратын функциялары мен алатын жүктемелерін ескере отырып, иінді біліктің механикалық қасиеттерін арттыру болып саналады.

Осы мақсатта біз шихтаға алюминий енгіздік, ол атап өткендей, ол саңылаулардың, жарықшақтардың пайда болуын жояды. Графитті енгізу балқытудың қаттылығын арттырады, ал темір ұнтағында молибденнің болуы ұсақ түйіршікті құрылымды алуға ықпал етеді. Бастапқы композиция үшін шихта компоненттерінің салмақтық арақатынасы әдеби дереккөздерге бағдарланып қабылданды және эксперименталды түрде нақтыланды.

Осылайша, қалпына келтірілген иінді біліктің жоғары физикалық-механикалық қасиеттерін алу үшін негізгі шарттар мыналар болды: балқыма құрылымында бөлшектің жоғары тозуға төзімділігін қамтамасыз ететін ұсақ және орташа инелі мартенсит, сондай-ақ ең аз кернеулі құрылымды алу, бұл әсіресе шойынды иінді білікті қалпына келтіру кезінде маңызды. Мартенситтік құрылымды алу, белгілі болғандай, бұйымды АЗ нүктесінен (720°C) жоғары қыздыру және оны тез салқындату кезінде мүмкін [9].

Әдіснама

Шойын иінді біліктердің балқымаланған мойындарының физикалық-механикалық қасиеттерін зерттеу үшін біз балқымаланған мойындарынан үш ролик үлгісін дайындадық және олардың балқымаланған металдың микроструктурасы мен оның беріктік сипаттамаларына кешенді тексеру жүргіздік.

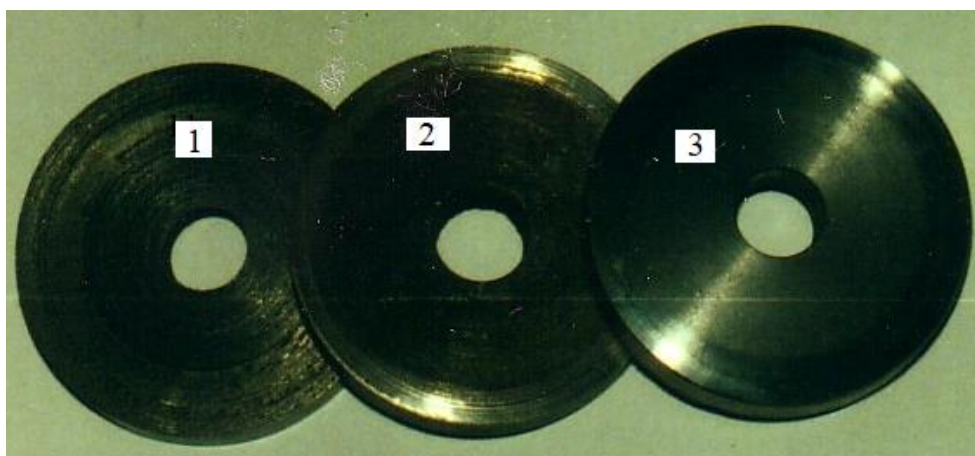
Жұмыстың осы кезеңінде иінді біліктердің балқымаланған мойындарының физикалық-механикалық қасиеттерінен үлгілердің қаттылығы, микроқұрылымы, иінді біліктің мойындарының көлденең қимасының микро және макроқұрылымы өлшенді [9]. Зерттеу үшін балқымамен қалпына келтірілген иінді біліктердің түпкі мойындарынан кесіп алынған алты ролик үлгілері ұсынылды [7].

Үлгілер келесі ретпен таңбаланған:

«1» үлгісі. Түпкі мойын, қосымша материал балқымалау сымы 15 ГСТЮЦА, күрделі құрамды ұнтақ (көміртек ұнтағы, алюминий ұнтағы АЛ-4; ПЖ-4М молибдені бар темір ұнтағы).

«2» үлгісі. Түпкі мойын, қосымша материал балқымалау сымы 15 ГСТЮЦА, бұрандалы балқымалау.

«3» үлгісі. Түпкі мойын, қосымша материал балқымалау сымы 15 ГСТЮЦА, «Сормаит» ұнтағы.



1-сурет. Микроқұрылымды зерттеуге арналған үлгілер

Металдың микроструктурасын анықтау үшін үлгілердің беттерін мынадай құрамдағы реактивте тазалаймыз: этил спирті – 100 мл және азот қышқылы (концентрацияланған) – 4 мл.

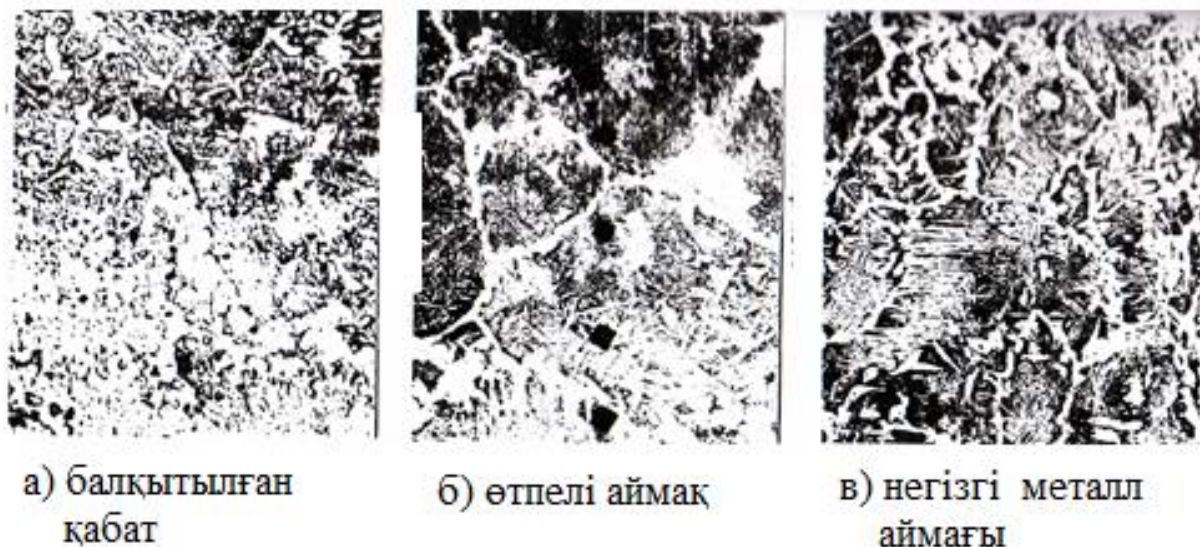
Үлгілер металының микроструктурасын зерттеу МИМ-8М көлденең металлографиялық микроскопында жүргізілді. $\times 100$ ұлғайған кезде МЕМСТ 5639-82 талаптарына сәйкес нақты түйіршектердің шамасы айқындалды. $\times 300$ және $\times 500$ ұлғайған кезде микроструктураның негізгі құрамдары мен сипаты айқындалды.

Балқымаланған металл мен негізгі металдың қаптама аймағында және термиялық әсер ету аймағында микроқаттылығын өлшеу 100 кгс жүктемеде ПМТ-3 аспабында алмас пирамидасымен жүргізілді. Микроқаттылықты өлшеу әрбір 100 мкм немесе 0,1 мм сайын жүргізілді.

Нәтижелер және талқылау

Шойын иінді біліктердің балқымаланған мойындарының физикалық-механикалық қасиеттерін зерттеу үшін біз балқыланған мойындары бар бұйымдардың үш үлгісін дайындадық. Төменде балқытылған қабаттың және қалпына келтірілген біліктердің мойындарының негізгі металына өту аймағының құрылымын металлографиялық зерттеу нәтижелері келтірілген [5].

«1» үлгісі. Көзбен шолып қарау нәтижесінде балқыма металл қабатында қуыстар, жарықтар және басқа да ақаулар табылған жоқ. Металда балқыма қабаттың қалыңдығы 4,4-4,5 мм. Металда балқыма қабат микроструктурасы орташа инелі мартенситтен және балқытылған металдың «ваннасы» кристалдандыру кезеңінде бастапқы аустенитті дәндердің шекаралары бойынша бөлінген қоспаланған ферриттен тұрады. «1» үлгісіндегі балқытылған металдың микроструктурасы (ұлғаюы $\times 300$) 2(а) -суретте, берілген. Балқымаланған металл микроструктурасының нақты дәндердің шамасы 6 балына МЕМСТ 5639-82 сәйкес келеді.



2-сурет. Балқымаланған металдың микроструктурасы (x300 есе үлкейтілген)
(«1» үлгісі, түпкі мойын, 15 ГЮСТЦА + ұнтақ)

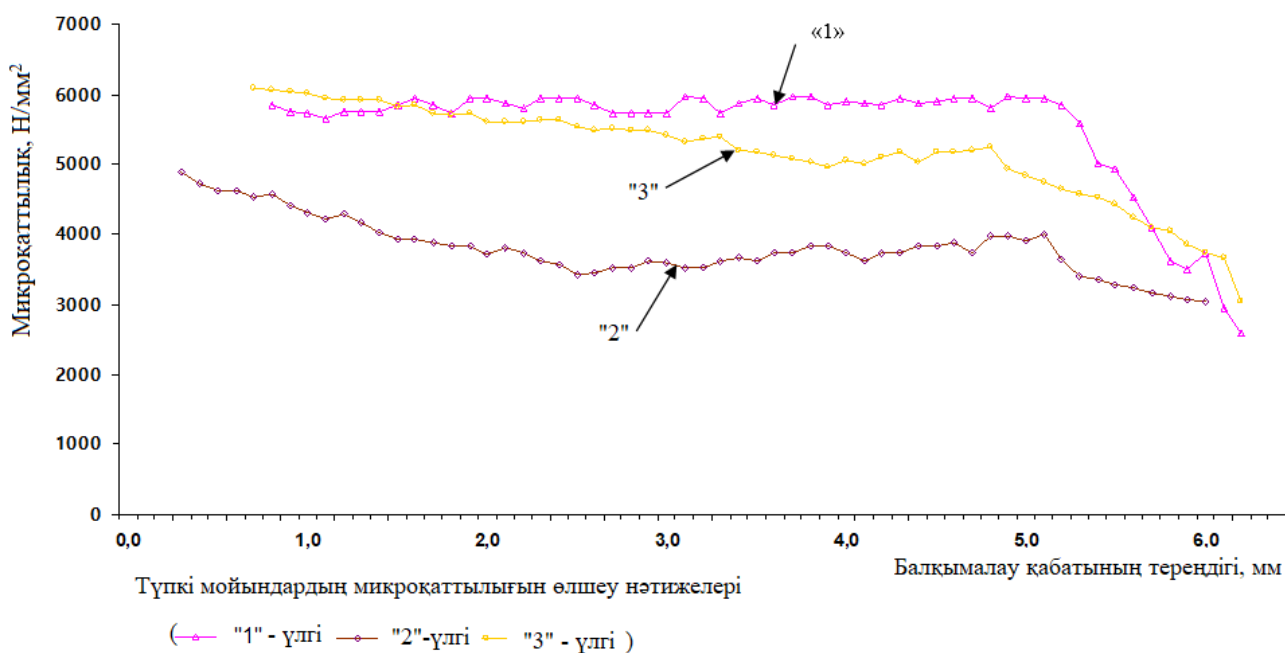
Балқыту шекарасына жақынырақ балқытылған металдағы нақты дәндердің шамасы МЕМСТ 5639-82 бойынша 5-ші және тіпті 4-ші баллға дейін өседі, бұл осы учаскедегі металл аустенит дәндерінің қарқынды өсу температурасынан асатын температураны ұзақ уақыт сақтағанын куәландырады.

2(б) – суреттерде балқыма аймағының микрофотографиясы келтірілген: сол жақта – балқытылған металдың микроструктурасы (ұсақ инелі мартенсит + легирленген феррит), оң жақта – қаптама маңындағы аймақ немесе негізгі металдың балқыма аймағындағы эвтетикалыққа дейінгі ледебурит (цементит инелері және ұсақ перлиттің шағын учаскелері) болып табылады.

Шойынның ағартылуы (немесе ледебурит құрылымының пайда болуы) 0,2-0,25 мм тереңдікте болды. Балқыма шекарасынан алыстау шамасына қарай негізгі металл құрылымындағы цементит мөлшері біртіндеп азаяды. 2(в) суретте балқыту шекарасынан 0,5 мм тереңдікте мойынның негізгі металының микроқұрылымының фотосуреті келтірілген. Ұсақ дисперсті шыңдалған перлит фонында цементиттің шағын учаскелері (сұр фондағы ақшыл учаскелер) орналасқан

Балқыма шекарасынан 1,0-1,5 мм қашықтықта негізгі металдың құрылымы перлиттен + ферриттен + шар тәрізді графиттен тұрады.

«1» үлгісінің термиялық әсер ету аймағы мен қаптамалық аймағында балқытылған металл мен негізгі металдың микроқаттылығын өлшеу нәтижелері 3-суретте 1 қисық түрінде келтірілген. Балқытылған металдың жекелеген құрылымдық құрауыштарының микроқаттылығы 5200-6150 МПа (55-57 HRC) шегінде болады. Негізгі металдың микроқаттылығы үлгінің ішкі балқыту шекарасынан 5740 МПа-дан (ледебурит құрылымы) 2380 МПа-ға дейін (металл негізі түйіршікті перлит + феррит) азаяды[11].

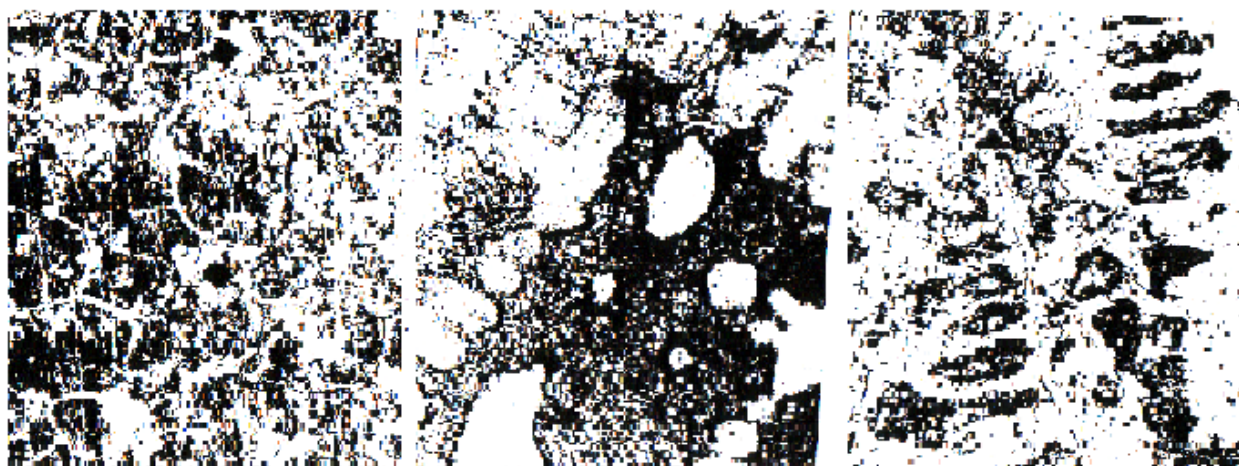


3-сурет. Иінді білік түпкі мойындарының микроқаттылығының балқымаланған қабат тереңдігіне тәуелділік графиктері

«1» үлгісінің термиялық әсер ету аймағы мен қаптамалық аймағында балқымаланған металл мен негізгі металдың микроқаттылығын өлшеу нәтижелері 3-суретте 1 – қисық түрінде келтірілген. Балқытылған металдың жекелеген құрылымдық құрамдарының микроқаттылығы 5200-6150 МПа (56-58 HRC) шегінде болады. Негізгі металдың микроқаттылығы үлгінің ішкі балқыту шекарасынан 5740 МПа-дан (ледебурит құрылымы) 2380 МПа-ға дейін (негізгі металда түйіршікті перлит + феррит) азаяды.

«2» үлгісі. Көзбен шолып қарау нәтижесінде балқымаланған металл қабатында жарықшақтар анықталды. Балқытылған қабаттың қалыңдығы 4,1-4,2мм.

Балқытылған металл микроструктурасының нақты дәндерінің шамасы МемСТ 5639-82 бойынша 6-7 балына сәйкес келеді. Балқытылған металдың микроструктурасы ұсақ дисперсті перлиттен, трооститтен және ферриттен жеке учаскелер түрінде де, сондай-ақ бастапқы аустенитті дәндері шекаралар жиектерінде тұрады, 4-сурет. Балқытылған металдың микроқаттылығы 3830-4430 МПа (40-42 HRC) шегінде болады. Балқыту шекарасына жақындаған сайын ферриттік орамдар жойылады, сфераның құрылымдық құрамдас бөліктері жойылады және дозаланады, олардың қаттылығының 3830-дан 3530 МПа-ға дейін төмендеуі байқалады (3-сурет, 2-қисық).



а) балқытылған қабат

б) өтпелі аймақ

в) негізгі металл аймағы

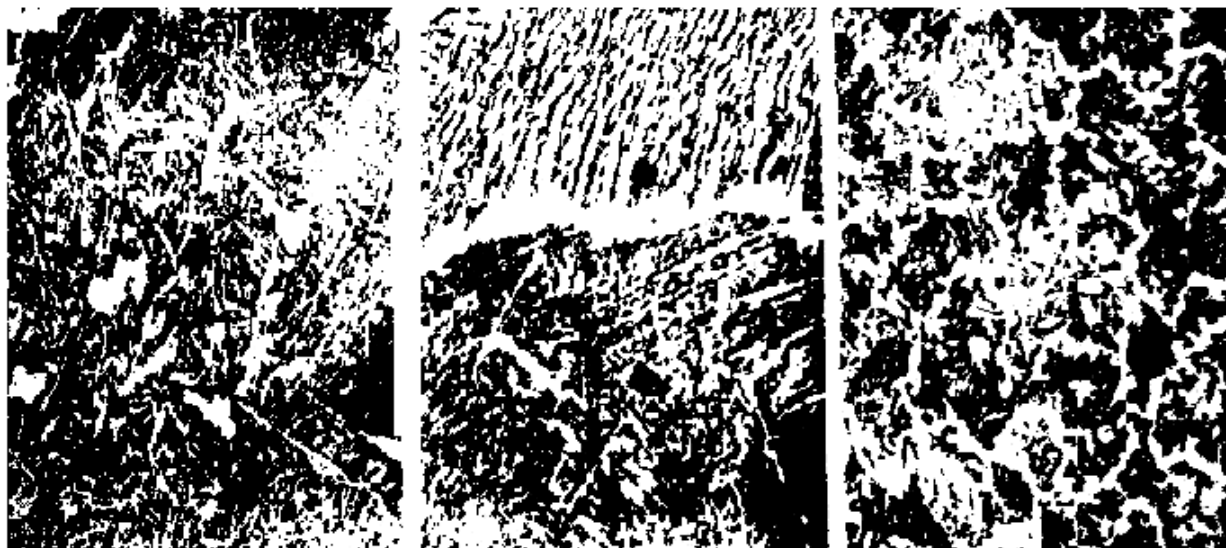
4-сурет. Балқытылған металдың микроструктурасы
(«2» үлгісі, түпкі мойын, бұрандалы балқыту)

4(б) – суретте балқыма аймағының микроқұрылымы көрсетілген: балқымаланған металл және түйіршікті перлит.

Шойынның ағартылуы балқу шекарасынан 1,0 мм тереңдікке дейін болды. 4(в) суретте "4" үлгісінің жік маңы аймағындағы эвтектикаға дейінгі ақ шойын көрсетілген[10].

«3» үлгісі. Көзбен шолып қарау нәтижесінде кеуектер, жарықтар және балқытудың басқа да ақаулары табылмағаны анықталды. Балқымаланған қабаттың қалыңдығы 4,1-4,2 мм.

Балқымаланған металл микроструктурасының нақты дәндерінің шамасы МемСТ 5639-82 бойынша 6-7 балына сәйкес келеді. Балқытылған металдың микроструктурасы ұсақ инелі мартенсит + феррит, негізінен бастапқы аустенитті дәндердің шекаралары бойынша жіктер түрінде 5-суретте көрсетілген. Балқымаланған металдың микроқаттылығы 4590-5370 МПа немесе 47-48HRC 3-қисық 3-сурет. Негізгі металл 1,0 мм дейінгі тереңдікте ағартылды. Жік маңындағы аймақтағы негізгі металдың микроқаттылығы 5740 МПа-дан (құрылым-ледебурит) 2240 МПа-ға дейін (перлит + феррит + шар тәрізді графит) мәнге ие.



а) балқытылған аймақ

б) өтпелі аймақ

в) негізгі металл

5-сурет. Балқытылған металдың микроструктурасы («3» үлгісі, түпкі мойын, 15 ГЮСТЦА + сормаит ұнтағы)

Қорытынды

Біліктердің тәжірибелік партиясының мойындарын балқытумен қалпына келтіргеннен кейін олардан кесіп алынған үлгілерге металлография әдісімен металдың балқытылған қабатының, біліктің өтпелі аймағының және негізгі металының микроструктурасы мен микроқаттылығы зерттелді.

Үлгілердің құрылымы мен шағын қалыңдығын металлографиялық зерттеу нәтижелері бойынша металл қабатының білік мойнына балқыған құрылымның әсері және оның қаттылығы, қозғалтқыштың шойын иінді біліктерінің тозуға төзімділігі мен тозу беріктігі туралы қорытындылар жасалды.

Сонымен, жоғарыда баяндалған бөлшектерді қалпына келтіру тәсілдерінің бәрі шойын иінді біліктердің шатун және түпкі мойындарын беріктендіру үшін пайдаланылуы керек екенін дәлелдеуге мүмкіндік береді.

Авторлардың қосқан үлесі:

Каржаубаев А.С. – тұжырымдаманы құру, зерттеу жүргізу, әдебиетпен жұмыс.

Тойлыбаев А.Е. – зерттеу нәтижелерін талдау және синтездеу.

Найманова Г.Т. – синтездеу және қолжазба мәтінімен жұмыс.

Казенова А.О., Асыллов Г.Б. – қорытынды және әдебиеттік шолу

Әдебиеттер тізімі

1. Черноиванов, В.И. Восстановление коленчатых валов / Черноиванов В. И., Лялякин В.П. // Техника в сельском хозяйстве – 2006. – № 1. – С. 57-59.
2. Яковлев, К.А. Разработка процесса термомеханического упрочнения поверхностей с газотермическими покрытиями : Автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / Яковлев К. А. / Воронежская гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 2008 – 17 с.
3. Бухтояров, В.Н. Технология восстановления цилиндрических поверхностей валов плазменным напылением с одновременным оплавлением выносной модулируемой дугой (на примере коленчатого вала): Автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / Бухтояров В.Н. / Воронежская гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 2013. – 16 с.
4. 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.
5. Посметьев, В.И. Свойства покрытий, упрочненных 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. Никонов, В.О. Разработка комбинированного способа нанесения и упрочнения покрытий / В.О. Никонов // Инновационные разработки молодых ученых Воронежской области на службу региона: сборник докладов Региональной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Воронеж, 16-17 апреля 2012 г. / Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере ; Прав. Вор. обл.; ВИТЦ. – Воронеж, 2012. – С. 148-149.
7. Тополянский, П.А. Плазменные технологии нанесения покрытий / Сварщик № 3, 2002 г., С. 10 – 11.
8. Сидоров, А.И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой / А.И. Сидоров. – М. : Машиностроение. – 2017. – 192 с.
9. Соснин, Н.А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров / Н.А. Соснин, С.А. Ермаков, П.А. Тополянский. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та. – 2008. – 406 с.
10. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением (Под ред. Б. Е. Патона). – Машиностроение. – М. – 2004.
11. Тимохова, О.М. Вопросы технологического обеспечения плазменного напыления и упрочнения покрытий деталей машин [Электронный ресурс] / О. М. Тимохова, А. М. Кадырметов, Е. В. Снятков, В.Л. Махонин // Воронежский научно-технический вестник. – 2017. – Т. 4, № 4 (22). – С. 16-31. Режим доступа : <http://vestnikvgtlta.ru/arhiv/2017/4-22-2017/16-31.pdf>.
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.

Каржаубаев А.С., Тойлыбаев А.Е.*, Найманова Г.Т., Казенова А.О., Асыллов Г.Б.

АО АЛТ Университет имени Мухамеджана Тынышпаева, Алматы, Казахстан

Исследования физико-механических свойств наплавленного слоя шеек чугунных коленчатых валов

Аннотация. В настоящее время в зарубежных автомобилях используются чугунные коленчатые валы, восстановление которых создает трудности из-за особенностей высокопрочного чугуна. Поэтому, разработка метода восстановления чугунных коленчатых валов двигателей автомобилей в настоящее время является актуальной задачей. Решение этой задачи позволит усовершенствовать высокоэффективные технологии восстановления коленчатых валов, а также расширить область научных знаний о теории и практике применения способа наплавки с высокими энергетическими показателями.

В этой статье представлена технология восстановления изношенных шеек чугунных коленчатых валов с применением дуги, созданной из металлических порошков и проволоки 15-ГСТЮЦА, что обеспечивает износостойкость и прочность шеек коленчатых валов.

Кроме того, приводятся результаты металлографических исследований структуры наплавленного слоя и переходной зоны к основному металлу шеек восстановленных валов. Проведена комплексная проверка микроструктуры наплавленного металла и его прочностных характеристик.

Ключевые слова: широкослойная наплавка, коленчатый вал, микроструктура, износ, микротвердость, средний игольчатый мартенсит, сварочная проволока, железный порошок.

Karzhaubaev A.S., Toylybaev A.E.*, Naimanova G.T., Kazenova A.O., Asylov G.B.

ALT University named after Mukhamedzhan Tynyshpayev, Almaty, Kazakhstan

Study of physical and mechanical properties of the deposited layer of necks of cast-iron crankshafts

Abstract. Currently, foreign cars use cast iron crankshafts, the restoration of which creates difficulties due to the peculiarities of high-strength cast iron. Therefore, the development of a method for restoring cast iron crankshafts of automobile engines is currently an urgent task. The solution of this problem will make it possible to improve highly efficient technologies for restoring crankshafts, as well as to expand the field of scientific knowledge on the theory and practice of using a surfacing method with high energy indicators.

This article presents the technology of restoring worn-out necks of cast-iron crankshafts using an arc created from metal powders and 15 GSTYUCA wire, which ensures the wear resistance and strength of crankshaft necks.

In addition, the results of metallographic studies of the structure of the deposited layer and the transition zone to the base metal of the necks of the restored shafts are given. A comprehensive check of the microstructure of the deposited metal and its strength characteristics was carried out.

Keywords: wide-layer surfacing, crankshaft, microstructure, wear, microhardness, medium needle martensite, welding wire, iron powder

References

1. Chernoiyanov, V. I. Restoration of crankshafts / Chernoiyanov V. I., Lyalyakin V. P. // Technique in agriculture – 2006. – No. 1. – pp. 57-59.
2. Yakovlev, K.A. Development of the process of thermomechanical hardening of surfaces with gas-thermal coatings: Abstract. ... Candidate of Technical Sciences : 03/05/2011 / Yakovlev K. A. / Voronezh State Forestry Engineering. acad. – Voronezh, 2008 – 17 p.
3. Bukhtoyarov, V. N. Technology of restoration of cylindrical surfaces of shafts by plasma spraying with simultaneous melting by an external modulated arc (using the example of a crankshaft) : Abstract. ... Candidate of Technical Sciences : 03/05/2011 / Bukhtoyarov V. N. / Voronezh State Forestry Engineering. acad. – Voronezh, 2013. – 16 p.
4. Kadyrmetov, A.M. Technological prospects and possibilities of plasma coating and hardening processes / A.M. Kadyrmetov, S. I. Sushkov, V. O. Nikonov // Construction and road machines. – 2013 – No. 7. – pp. 25-32.
5. Posmetyev, V.I. Properties of coatings hardened by plasma spraying with simultaneous electromechanical treatment / V.I. Posmetyev, A.M. Kadyrmetov, V. O. Nikonov, A. S. Pustovalov // Voronezh Scientific and Technical Bulletin – 2013. – № 1 (3) – Pp. 34-41.
6. Nikonov, V.O. Development of a combined method for applying and hardening coatings / V. O. Nikonov // Innovative developments of young scientists of the Voronezh region for the service of the region : collection of reports of the Regional Scientific Conference of students, postgraduates and young scientists, Voronezh, April 16-17, 2012 / Foundation for the Promotion of Small Forms of Enterprises in the scientific and technical field; Right. Thief. region ; WITZ. Voronezh, 2012. pp. 148-149.
7. Topolyansky, P. A. Plasma coating technologies / Welder No. 3, 2002, pp. 10-11.
8. Sidorov, A. I. Restoration of machine parts by spraying and surfacing / A. I. Sidorov. – M. : Mechanical engineering. – 2017. – 192 p.
9. Sosnin, N.A. Plasma technologies. Handbook for engineers / N.A. Sosnin, S.A. Ermakov, P. A. Topolyansky. – St. Petersburg : Publishing House of the Polytechnic University. un-ta. - 2008. – 406 p.
10. Technology of electric welding of metals and alloys by melting (Ed. by B. E. Paton). – Mechanical engineering. – M. – 2004.
11. Timokhova, O. M. Issues of technological support for plasma spraying and hardening of coatings of machine parts [Electronic resource] / O. M. Timokhova, A.M. Kadyrmetov, E. V. Snyatkov, V. L. Makhonin // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. - 2017. – vol. 4, No. 4 (22). – pp. 16-31. Access mode : <http://vestnikvgtla.ru/arhiv/2017/4-22-2017/16-31.pdf>.
12. Kadyrmetov, A.M. Technological prospects and possibilities of plasma coating and hardening processes / A.M. Kadyrmetov, S. I. Sushkov, V. O. Nikonov // Construction and road machines. – 2013 – No. 7. – pp. 25-32.

Авторлар туралы мәлімет:

Каржаубаев А.С. техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған 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

Найманова Г.Т. техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, М. Тынышбаев атындағы АЛТ университеті АҚ, Шевченко көшесі 97, 050026, Алматы, Қазақстан

Казенова А.О. PhD, доцент, М. Тынышбаев атындағы АЛТ университеті АҚ, Шевченко көшесі 97, 050026, Алматы, Қазақстан

Асыллов Г.Б. магистр, ассистент оқытушы, М. Тынышбаев атындағы АЛТ университеті АҚ, Шевченко көшесі 97, 050026, Алматы, Қазақстан

Каржаубаев А.С. кандидат технических наук, ассоциированный профессор, 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

Найманова Г.Т. кандидат технических наук, ассоциированный профессор, АО АЛТ университет им. М. Тынышбаева, ул. Шевченко 97, 050026, Алматы, Казахстан

Казенова А.О. PhD, доцент, М. Тынышбаев атындағы АЛТ университеті АҚ, Шевченко көшесі 97, 050026, Алматы, Қазақстан

Асыллов Г.Б. магистр, ассистент преподаватель, АО АЛТ университет им. М. Тынышбаева, ул. Шевченко 97, 050026, Алматы, Казахстан

Karzhaubaev A.S. Candidate of Technical Sciences, Associate 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

Naimanova G.T. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, M. Tynyshbaev ALT University JSC, 97 Shevchenko str., 050026, Almaty, Kazakhstan

Kazenova A.O. PhD, docent, M. Tynyshbaev ALT University JSC, 97 Shevchenko str., 050026, Almaty, Kazakhstan

Asylov G.B. Master's degree, Assistant Lecturer, M. Tynyshbaev ALT University JSC, 97 Shevchenko str., 050026, Almaty, Kazakhstan



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 55.47.29

Научная статья

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-149-4-244-255>

Экспериментальное исследование управления бесколлекторным двигателем с помощью MPU6050

К.Т.Ахметов¹, К.М.Байжуман², А.Б.Болатова*¹, У.Т.Касымов¹

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

²Центр военно-стратегических исследований, Астана, Казахстан

(E-mail: *kairat.telektsovich@gmail.com)

Аннотация. В данной статье рассмотрены вопросы управления бес-коллекторного двигателя марки A2212/13T модулем MPU6050, служащее для стабилизации полета малоразмерного беспилотного летательного аппарата. Приведено краткое сведение конструкции данного типа летательного аппарата, а также размещение в нем аппаратной части и двигательных установок. Для реализации аппаратной части с двигателями бесколлекторного типа проведены экспериментальные исследования. Для реализации управления двигателя изначально была создана схема подключения микро-контроллера Atmega328 к модулю MPU6050, которая представляет собой датчик акселерометр-гироскоп и прошивка программы с помощью про-грамматора FDTI. Кратко описаны принцип действия данного модуля и его подключения. Получены сырые данные, снятые с акселерометра и гироскопа в режиме реального времени, применены к этим данным фильтр Калмана для их обработки, составлен алгоритм управления двигателя в зависимости от угла поворота модуля. По полученным результатам впервые определены зависимости угла поворота модуля от ширины импульса, исходящего из микро-контроллера. Выявились, что при наклонении модуля на угол от 0 до 40 градусов, ширина импульса изменяется от 300 до ~750 мкс.

Ключевые слова: бесколлекторный двигатель, модуль MPU6050, беспилотный летальный аппарат, микроконтроллер Atmega328, ШИМ-сигнал.

Поступила 02.12.2024. Доработана 03.12.2024. Одобрена 05.12.2024. Доступна онлайн 31.12.2024

¹*автор корреспонденции

Введение

Модуль MPU6050 является шестиосевым устройством, служащее для стабилизации полета, объединяющее в себе два основных измерительных устройства – гироскоп и акселерометр [1]. Его компактная конструкция, низкое энергопотребление и способность измерять как угловую скорость, так и линейное ускорение делают его популярным выбором для различных приложений, особенно в беспилотных летательных аппаратах (далее МБПЛА) и робототехнике. На практике модуль в основном используется с бесщеточными двигателями различного типа для стабилизации и управления БПЛА с целью измерения угловой скорости по гироскопу и линейного ускорения по акселерометру [2]. Эти данные используются в системах управления, таких, как ПИД-регуляторы, для поддержания устойчивости и ориентации системы летательных аппаратов и в других устройствах [3-5]. Главной особенностью ПИД-регулятора является работа с обратной связью. Наряду с MPU6050 он непрерывно отслеживает движение и ориентацию системы, сравнивая их с желаемым состоянием и помогая вносить корректировки в работу двигателя в реальном времени. Также модуль используется для анализа и компенсации вибрации. Бесщеточные двигатели часто создают вибрации, особенно на высоких скоростях. Акселерометр в MPU6050 обнаруживает эти вибрации, позволяя системе компенсировать их, повышая производительность в чувствительных приложениях, таких, как подвесах камер. В основу всех вышеперечисленных назначений данный модуль взаимодействует с микроконтроллерами различного типа через протоколы связи I²C или SPI [6,7]. Микроконтроллер обрабатывает данные датчика и использует алгоритмы для получения параметров движения. На основе этих параметров микроконтроллер регулирует скорость и направление бесщеточного двигателя с помощью электронного регулятора скорости (ESC) для достижения желаемого поведения [8].

Целью данной статьи является экспериментальное исследование синхронного управления двигателем (плавного регулирования числа оборотов) в зависимости от угла поворота датчика и выявление механизма обработки данных. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) конструирование малоразмерного МБПЛА;
- 2) создание аппаратной части для регулировки бесколлекторного двигателя;
- 3) тестирование аппаратной части с получением данных и обработки их.

Методология

Методами исследования является обработка сырых данных по методу Калмана и использование этих данных для управления двигателями. Для расположения четырех бесколлекторных двигателей и самой аппаратной части предложена конструкция малоразмерного беспилотного летающего аппарата (далее, МБПЛА) винтообразного типа. Он состоит из корпуса (4) и четырех несущих элементов с двигателями – рама крыла (рис.1.). В корпусе размещаются ион-литиевый аккумулятор 2200 мАч (5), в нижней подставке (3) размещается плата распределения, в верхней подставке (2)

устанавливается аппаратная часть. Корпус изолируется от внешних климатических воздействий верхними (1) и нижними крышками (6).

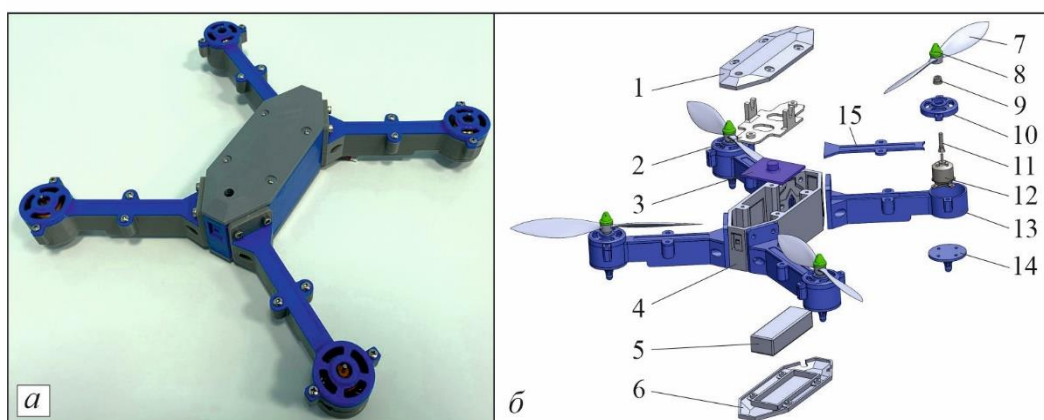


Рисунок 1. Малоразмерный БПЛА: (а) – Общий вид; (б) – Кон-струкция: 1 – верхняя крышка, 2 – верхняя подставка; 3 – нижняя подставка; 4 – корпус; 5 – аккумулятор; 6 – нижняя крышка; 7 – про-пеллер; 8 – колпак двигателя; 9 – втулка; 10 – крышка двигателя; 11 – накидной болт; 12 – бесколлекторный двигатель; 13 – рама крыла; 14 – подставка двигателя.

Четыре бесколлекторных (бесщеточных) двигателя (12) марки A2212/13T с числом оборотов 1000 об/вольт без нагрузок (без пропеллера) устанавливаются в рамках крыла (13). Регуляторы скоростей помещаются в средних частях рамы крыла и закрываются крышкой (15). Для фиксации пропеллеров (7) диаметром 255 мм на валы двигателей используются накидные валы (11) со встроенными втулками двигателей (12) и зажимаются колпаками двигателей (8). Вся данная конструкция крыльев опирается на подставках (14), служащих опорой для всей конструкции МБПЛА.

Получение сырых данных с датчика MPU6050. Для достижения данной цели проведены отдельные эксперименты только с датчиком MPU6050 и совместно датчик с двигателями. Рассмотрим первый случай. Для исследования стабилизации работы двигательных установок применяется датчик MPU6050, подключаемый к микроконтроллеру Atmega328. Принципиальная схема подключения датчика с микроконтроллером представлена на рисунке 2. В данной схеме источником питания служит ионлитиевый аккумулятор 2200 мА·ч, напряжением 11,1 В (2). Для преобразования в 5 В используется стабилизатор напряжения LM7805 (4) с конденсаторами (3) либо специальный модуль-стабилизатор на 5В, питаемое с блокпитания 12 В. Данные стабилизаторы снабжают питанием всю аппаратную систему. Данные ускорения с акселерометра по всем трем осям и угловой скорости с гироскопа (10) поступают в микроконтроллер (6), по которому обрабатывается заданный алгоритм. Алгоритм, созданный на персональном компьютере, представляет собой код программы, который загружается в микроконтроллер программатором (5). Для функционирования микроконтроллера дополнительно подключается кварцевый резонатор (9), служащий для стабилизации частоты сигналов в 16 МГц, и светодиод (8), использующий в качестве индикатора работы.

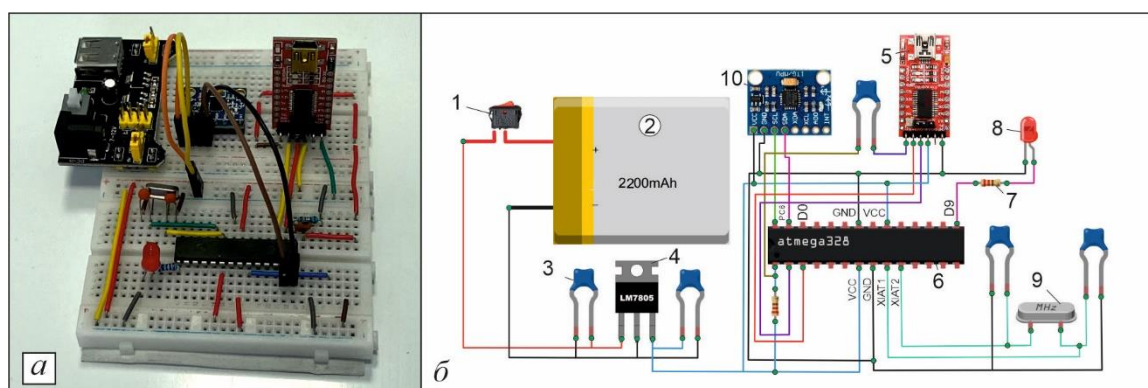


Рисунок 2. Схема подключения датчика MPU6050 к микро-контроллеру: (а) – общий вид; (б) – принципиальная схема: 1 – вы-ключатель, 2 – аккумулятор, 3 – конденсаторы, 4 – стабилизатор напряжения, 5 – программатор, 6 – микроконтроллер, 7 – резисторы, 8 – светодиод, 9 – кварцевый резонатор, 10 – акселерометр-гироскоп MPU6050.

Микроконтроллер Atmega328 является основным компонентом в данной схеме. Его можно отнести к своего рода миниатюрному компьютеру, на котором осуществляют вычисленные процессы. Atmega328 является 8-битным микроконтроллером фирмы Atmel [9], который объединяет в од-ном корпусе Flash-память, память EEPROM, оперативно-запоминающее устройство – SRAM память, порты ввода-вывода, таймеры и счетчики, программируемые USART, SPI, I2C интерфейсы, аналогово-цифровые преобразователи и сторожевой таймер. Связь MPU6050 с микроконтроллером Atmega328 осуществляется при помощи интерфейса I2C. Для того, чтобы считать показания с датчика, необходимо задать команды считывания из регистров датчика, то есть осуществить отправку данных команд с микроконтроллера. Со стороны датчика параллельно происходит следующий процесс. В нем загружаются данные в соответствующие регистры путем оцифровки значений из показаний гироскопа и акселерометра по всем трем расположенным осям. Эти оцифрованные значения, хранящихся в регистрах, считываются микроконтроллером по каналу I2C. Таким обра-зом осуществляется непрерывное передача данных в режиме реального времени.

Рассмотрим принцип работы датчика MPU6050. Он состоит из двух функциональных составляющих – акселерометра и гироскопа. Акселерометр используется для определения ориентации относительно силы тяжести, что дает представление о наклонах МБПЛА в трех направлениях – тангаж, рыскание и крен. Согласно технической докумен-тации [10,11], датчик функционирует по трем осевым значениям x , y и z (рис.3, а). Для пояснения работы условно выберем гирию в равномерном вертикальном положении по оси z (рис.3, б). В случае отклонении данной гири один из осей изменяет угол. Положение гири в плоскости или в пространстве описываются по углам Эйлера. При повороте датчика относительно оси ox и при условии, что $ax = 0$ будет изменяться угол α (рис.3, в). Этот угол соответствует первому выражению из формулы (1). При поворо-те датчика относительно оси oy и при условии $ay = 0$ изменяется угол β (рис.3, б). Этот

угол соответствует второму выражению. В случае отклонения угла относительно оси z, будет изменяться угол γ по третьему выражению из формулы (1).

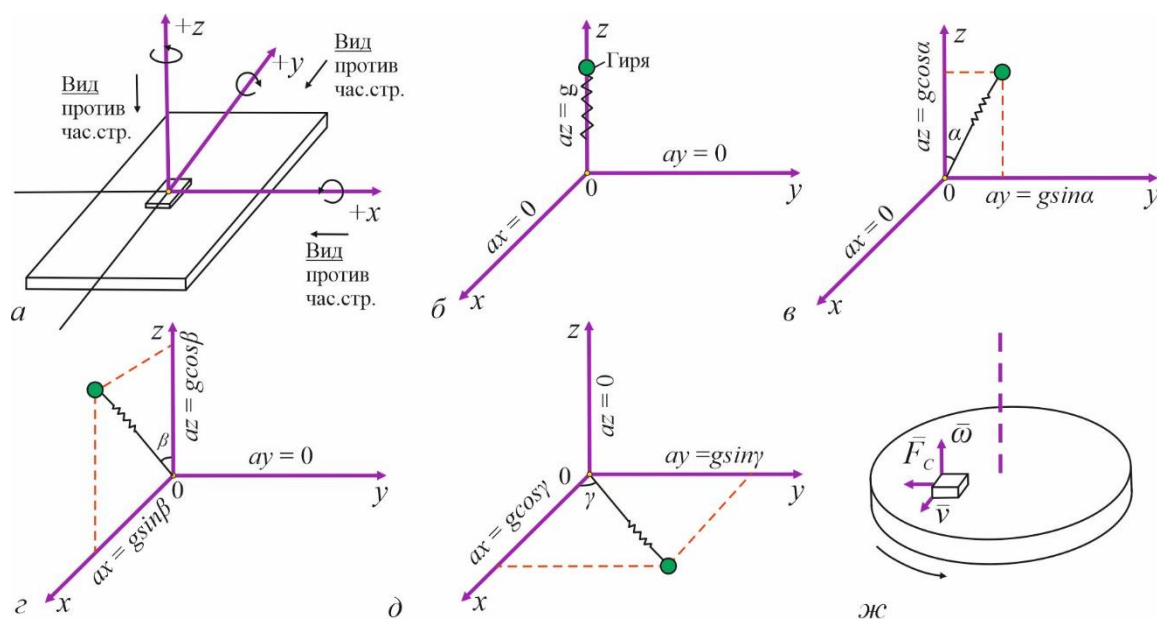


Рисунок 3. Ориентация осей в датчике MPU6050 (а); расположение гири в трехмерной координате (б); поворот датчика по оси x (в); по оси y (г); по оси z (д); функционирование силы Кориолиса: ω – угловая скорость, F_c – сила Кориолиса, v – линейная скорость.

Все описанные положения углов выражаются по формуле (1):

$$\begin{aligned}
 AccX &= \arctg\left(\frac{ay}{\sqrt{ax^2 + az^2}}\right), \text{ при } ax = 0, AccX = \arctg\left(\frac{ay}{az}\right) \\
 AccY &= \arctg\left(\frac{ax}{\sqrt{ay^2 + az^2}}\right), \text{ при } ay = 0, AccY = \arctg\left(\frac{ax}{az}\right) \\
 AccZ &= \arctg\left(\frac{ay}{\sqrt{ax^2 + az^2}}\right), \text{ при } az = 0, AccZ = \arctg\left(\frac{ay}{ax}\right)
 \end{aligned} \tag{1}$$

В состав архитектуры MPU6050 входит специальное устройство, называемое гироскопом. Это встроенное устройство работает по изменению угловой скорости, выраженных град/с. Оно работает по принципу силы Кориолиса [12]. Например, если материальную точку (рабочее тело) установить на некую поверхность и заставить эту поверхность вращать относительно собственной оси, то на это рабочее тело будет действовать сила Кориолиса (рис.3, ж). Она возникает за счет силы инерции и направлена перпендикулярно оси вращения, а также направлению линейной скорости. По известным величинам сил Кориолиса и линейной скорости определяется угловая скорость.

Таким образом, датчик MPU6050 выдает шесть значений, измеренных по своим осям: три по акселерометру и три по гироскопу. Данные, снятые с акселерометра, по всем трем осям представляют собой сырые данные, с различными колебательными значениями. Эти колебания с различными амплитудными значениями на практике называют «шумом». Он возникает внутри модуля из-за высокой чувствительности датчика к окружающей среде. Таким образом, используя формулу (1) с применением входных сырых данных с датчика, получаем расчетный не отфильтрованный угол. На практике для получения минимальных шумов с минимальными колебаниями применяются различные методы фильтрации данных. Наиболее надежным способом сглаживания сигналов является фильтр Калмана [13-15]. Фильтрованные значения углов представлены на рисунке красной линией (рис.4).

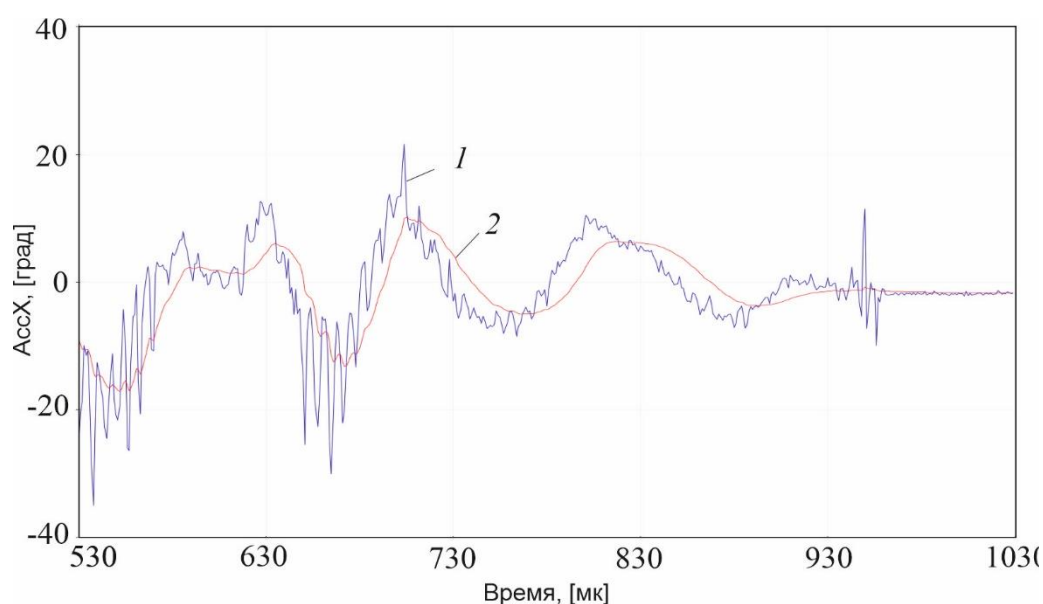


Рисунок 4. Получение сырых данных с MPU6050:
(1) – сырые данные до фильтрации; (2) – после фильтрации.

Углы, снятые по трем осям акселерометра, являются как правило неточными результатами для оценки измерения углов. Для полноценного получения углов в реальном времени дополнительно следует учитывать вторую составляющую – угловые скорости, получаемые с гироскопа. Гироскоп помогает измерить, насколько быстро МБПЛА может вращаться вокруг своих осей – тангаж, крен или рыскание. Суммируя показания обоих значений, при этом, что доля углов акселерометра должно составлять 2%, а доля от гироскопа 98%. Это позволяет определить полный угол наклона датчика относительно поверхности Земли.

$$\begin{aligned}
 TotAngX &= 0,98 \times GyrAngX + 0,02 \times AccAngX \\
 TotAngY &= 0,98 \times GyrAngY + 0,02 \times AccAngY \\
 TotAngZ &= 0,98 \times GyrAngZ + 0,02 \times AccAngZ
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Полученные данные о суммарных углах позволяют применить их в различных алгоритмических целях в зависимости от назначения. В нашем случае это управление бесколлекторного двигателя ШИМ-сигналом, исходящего из микроконтроллера Atmega328. Для подключения двигателя необходимо дополнительно подсоединить управляющий сигнал двигателя к цифровому контакту D3 (с поддержкой ШИМ-сигнала) микроконтроллера и запитать силовые линии от регулятора скорости к ионлитиевой ба-тарее.

Принцип работы управления двигателя модулем MPU6050 заключается в следующем. В зависимости от поворота модуля относительно одного из собственных осей, модуль фиксирует угол, измеренных по значениям акселерометра и гироскопа. Эти значения поступают в микроконтроллер для дальнейшей обработки. В микроконтроллере по заданному алгоритму рассчитывается общий угол. Значения общего угла связываются с командами управления двигателем по заданной библиотеке. Выходные сигналы (ШИМ-сигнал), поступающие из микроконтроллера, регулируют число оборотов двигателя в режиме реального времени.

Результаты и обсуждение. В ходе испытания модуля с двигателем были получены следующие данные (рис.5). Микроконтроллер выдает цифровые сигналы в виде прямоугольной формы. Эти прямоугольные формы представляют собой импульсы напряжения с определенной шириной. Ширина характеризуется временем, выраженным в микросекундах (мкс). Чем шире импульс, то есть чем больше промежуток времени существования импульса, тем выше будет сигнал напряжения. Именно по такой форме сигнала потребляется бесколлекторный двигатель через регулятор скорости.

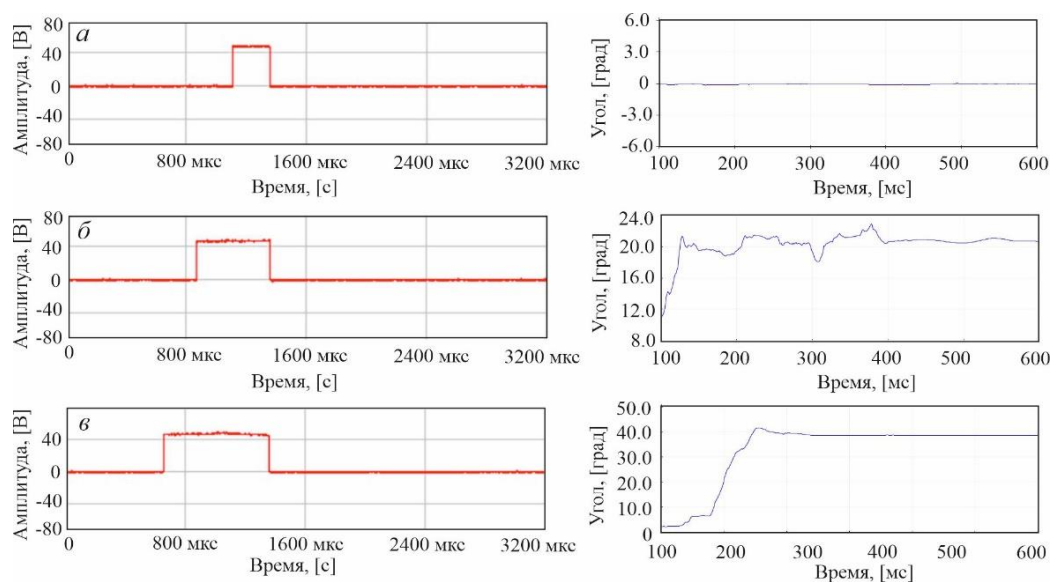


Рисунок 5. Данные, снятые с осциллографа и СОМ-порта: (а) – ширина импульса 300 мкс и угол 0°С, (б) – ширина импульса 600 мкс и угол 24°С, (в)– ширина импульса 750 мкс и угол 40°С.

При равномерно-параллельном положении модуля относительно Земли выходные импульсы с цифрового контакта D3 микроконтроллера выдают незначительные импульсы порядка 300 мкс (рис.5, а). Двигатель в этом положении находится в отключенном состоянии. При равномерном наклонении модуля относительно оси Oх на угол от 0 до 20° вращение вала двигателя равномерно увеличивает свою угловую скорость. Показание импульса с осциллографа составило 600 мкс (рис.5, б). В данной работе не замерялись значения числа оборотов двигателя в положении заданных углов. Эти значения были экспериментально определены в работе [16], по определению тяги винта с диаметром 255 мм, а также мощности бесколлекторного двигателя. В нем были определены, что при максимальных включенных двигателях из тринадцати однотипных образцов среднее число оборотов составило порядка 5884,46 об/мин (616,22 рад/с). При дальнейшем увеличении угла до 40° ширина импульса увеличивается до 750 мкс (рис.5, в). На нарастании импульса двигатель начинает значительно увеличивать свою угловую скорость. Это позволяет управлять МБПЛА в режиме автоматической стабилизации полета, если дополнительно применить в программном коде алгоритм ПИД-регулятора. Применение ПИД-регулятора позволит летающему аппарату равномерно и планомерно двигаться по заданной траектории пути без всяких колебаний, вызванными внешними условиями среды, автоматически выравнивать положения в пространстве относительно собственных осей – тангаж, рыскание или крен. Таким образом, исследование ПИД-регулятора, его аппаратной части и реализация в программном коде является непростой объемной задачей, которая будет исследоваться в отдельных статьях.

Заключение

На основании полученных экспериментальных данных следует, что применение данного типа модуля MPU6050 является неотъемлемой частью, входящей в состав любого типа летательного аппарата, в том числе и для МБПЛА. В данной статье определены принцип работы модуля, установлены связи программной части с модулем и бесколлекторным двигателем. Определены зависимости положений углов модуля от ширины импульса (ШИМ-сигнала), служащие для управления двигателем. Таким образом, исследование в данном направлении дает понимание о дальнейшей его научно-практической реализации для осуществления стабилизации полета.

Благодарность, конфликт интересов

Работа выполняется при поддержке грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (проект №AP195077/0225).

Вклад авторов:

К.Т. Ахметов: разработал концепцию исследования, методологию; корректировка статьи.

К.М. Байжуман: провел литературный обзор, исследование состояния проблемы.

А.Б. Болатова: провела алгоритмизацию и программирование данных, участвовала в редактировании статьи.

У.Т. Касымов: произвел конструирование и моделирование исследования.

Список литературы

1. Mohamed Elkhatib. Dynamic Modeling, Fuzzy control and Stabilization of Quadrotor Vehicle // – Publisher: Noor Publishing, 2017. – p.144. – книга на англ. языке.
2. B. Gautam. Multi-Purpose Flight Controller for UAV / – 3rd International Conference on Advancement in Electronics and Communication Engineering, AECE. – 2023 p.79-82. <https://doi.org/10.1109/AECE59614.2023.10428171>. – материалы конференции на англ. языке.
3. Alaa Sheta, Malik Braik, Dheeraj R. Optimization of PID Controller to Stabilize Quadcopter Movements Using Meta-Heuristic Search Algorithms / Journal: Applied Sciences, 2021, Vol. 11, p. 20-31. <https://doi.org/10.3390/app11146492> – статья на англ. языке.
4. Maddi, D, Sheta A., Davineni D. Optimization of PID Controller Gain Using Evolutionary Algorithm and Swarm Intelligence / – In Proceedings of the 2019 10th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS), Irbid, Jordan, 11–13 June 2019, pp. 199-204. <https://doi.org/10.1109/IACS.2019.8809144> – материалы конференции на англ. языке.
5. Журман Д.А. Настройка стабилизации БПЛА на базе микроконтроллера семейства Arduino / – Сборник научных трудов V международной научной конференции. В 2-х частях. Том 1. Под редакцией О.Г. Берестневой. Изд-во: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, – Томск, 2018. – С. 258-263. – материалы конференции.
6. Жмудь В.А., Кузнецов К.А., Кондратьев Н.О. и др. Акселерометр и гироскоп MPU6050: первое включение на STM32 и исследование показаний в статике / – Автоматика и программная инженерия. – 2018. – №3 (25). – С.9-19. – научный журнал.
7. Alldatasheet.com [Электронный ресурс]. URL: <http://www.alldatasheet.com/mpu-6050>. (Дата обращения: 20.11.2024). - электронный ресурс.
8. Афанасьев П.П. Беспилотные летательные аппараты: основы устройства и функционирования // – Изд-во МАИ, 2008 г. –654 с. – книга.
9. Alldatasheet.com [Электронный ресурс]. URL: <http://www.alldatasheet.com/Atmega328PU>. (Дата обращения: 20.11.2024). - электронный ресурс.
10. Anbazhagan K. Raspberry Pi - Amazon Alexa Voice Services, Voice controlled Home computerization, DS18B20 Temperature Sensor, DHT11 Humidity Sensor, MPU6050 Gyro Sensor, Hall Sensor etc. // – Publisher: Independently Published, 2019. – p.212. – книга на англ. языке.
11. Романова И.К. Траектории полета летательных аппаратов // – Изд-во: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2017. –149 с. – книга.
12. Сила Кориолиса [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki>. (Дата обращения: 20.11.2024). - электронный ресурс.
13. Фильтр Калмана - Введение [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/articles/140274> (Дата обращения: 22.11.2024). - электронный ресурс.
14. Шахтарин Б.И. Фильтры Винера и Калмана: учебное пособие для вузов. // – Изд-во: Горячая линия-Телеком, 2014 г. –408 с. – книга.
15. Алгоритмы обработки информации навигационных систем и комплексов летательных аппаратов / М. С. Селезнева, К. Шень, К. А. Неусыпин, А. В. Пролетарский. – Москва: МГТУ им. Баумана, 2018. – 234 с. – книга.
16. Ахметов К.Т., Болатова А.Б., Байжуман К.М., Саги А.А. Проблемы машиностроения: современные технологии обработки, материалы, машины, агрегаты. Сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции. 11-12 октября 2024г., г. Махачкала: ДГТУ, 2024. - 223 с. – материалы конференции.

К.Т.Ахметов*¹, К.М.Байжуман², А.Б.Болатова¹, У.Т. Касымов¹

¹*Еуразия ұлттық университеті. Л.Н. Гумилева, Астана, Қазақстан*

²*Әскери-стратегиялық зерттеулер орталығы, Астана, Қазақстан*

MPU6050 көмегімен коллекторсыз қозғалтқышты басқаруды эксперименттік зерттеу

Аңдатпа. Бұл мақалада шағын көлемді ұшқышсыз ұшу аппаратының ұшуын тұрақтандыруға қызмет ететін MPU6050 модулімен A2212/13T маркалы коллекторсыз қозғалтқышты басқару мәселелері қарастырылған. Ұшу аппаратының осы түрінің конструкциясы, сондай-ақ оған аппараттық бөлік пен қозғалтқыш қондырғыларының орналасуы туралы қысқаша ақпарат қарастырылған. Коллекторсыз типтегі қозғалтқыштары бар аппараттық бөлікті іске асыру үшін эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Қозғалтқышты басқаруды жүзеге асыру үшін бастапқыда Atmega328 мик-роконтроллерін MPU6050 модуліне қосу схемасы жасалды, ол акселерометр-гироскоп сенсоры және FDTI бағдарламашысының көмегімен код бағдарламаны жүзеге асырылды. Бұл модульдің жұмыс принципі және оны қосу қысқаша нұсқасы сипатталған. Нақты уақыт режимінде акселе-рометр мен гироскоптан алынған шикі деректер алынды, оларды өңдеу үшін Калман сүзгісі қолданылды, модульдің айналу бұрышына байланысты қозғалтқышты басқару алгоритмі жасалды. Алынған нәтижелер бойынша модульдің айналу бұрышының микроконтроллерден шығатын импульстің еніне тәуелділігі алғаш рет анықталды. Модуль 0-ден 40 градусқа дейін қисайған кезде импульстің ені 300-ден ~750 мкс-ге дейін өзге-ретіні анықталды.

Түйін сөздер: коллекторсыз қозғалтқыш, MPU6050 модулі, ұшқышсыз ұшу аппараты, Atmega328 микроконтроллері, ЕИМ-сигналы.

К.Т.Akhmetov*¹, К.М.Baizhuman², А.В.Boлатова¹, U.T. Kasymov¹

¹*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

²*Center for Military-Strategic Research, Astana, Kazakhstan*

Experimental Study on Brushless Motor Control Using MPU6050

Abstract. This article discusses the issues of controlling the A2212/13T brushless motor by the MPU6050 module, which serves to stabilize the flight of a small-sized unmanned aerial vehicle. A brief summary of the design of this type of aircraft is given, as well as the placement of hardware and propulsion systems in it. Experimental studies were conducted to implement the hardware with brushless motors. To implement engine control, a circuit was initially created for connecting the Atmega328 microcontroller to the MPU6050 module, which is an accelerometer-gyroscope sensor and firmware using the FDTI programmer. The operating principle of this module and its connection are briefly described. Raw data taken from the accelerometer and gyroscope in real time were obtained, a Kalman filter was applied to this data for processing them, an algorithm for controlling the engine depending on the module rotation angle was compiled. Based on the results obtained, the dependences of the module rotation angle on the pulse width emanating from the microcontroller were determined for the first time. It was found that when the module is tilted at an angle from 0 to 40 degrees, the pulse width changes from 300 to ~750 μ s.

Keywords: brushless motor, MPU6050 module, unmanned aerial vehicle, Atmega328 microcontroller, PWM signal.

References

1. Mohamed Elkhatib. Dynamic Modeling, Fuzzy control and Stabilization of Quadrotor Vehicle // – Publisher: Noor Publishing, 2017. – p.144.
2. B. Gautam. Multi-Purpose Flight Controller for UAV / – 3rd International Conference on Advancement in Electronics and Communication Engineering, AECE. – 2023 p.79-82. <https://doi.org/10.1109/AECE59614.2023.10428171>.
3. Alaa Sheta, Malik Braik, Dheeraj R. Optimization of PID Controller to Stabilize Quadcopter Movements Using Meta-Heuristic Search Algorithms / Journal: Applied Sciences, 2021, Vol. 11, p. 20-31. <https://doi.org/10.3390/app11146492>.
4. Maddi, D, Sheta A., Davineni D. Optimization of PID Controller Gain Using Evolutionary Algorithm and Swarm Intelligence / – In Proceedings of the 2019 10th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS), Irbid, Jordan, 11–13 June 2019, pp. 199-204. <https://doi.org/10.1109/IACS.2019.8809144>.
5. D.A. Zhurman. Nastrojka stabilizacii BPLA na baze mikrokontrollera semejstva Arduino / – Sbornik nauchnyh trudov V Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. V 2-h chastjah. Tom 1. Pod redakciej O.G. Berest-nevoj. Izd-vo: Nacional'nyj issledovatel'skij Tomskij politehnicheskij uni-versitet, – Tomsk, 2018. – str. 258-263. [in russian].
6. V.A. Zhmud', K.A. Kuznecov, N.O. Kondrat'ev i dr. Akselerometr i giroskop MPU6050: pervoe vkljuchenie na STM32 i issledovanie pokazanij v statike / – Avtomatika i programmaja inzhenerija. – 2018. – №3 (25). – str.9-19 [in russian].
7. Alldatasheet.com [Jelektronnyj resurs]. URL: <http://www.alldatasheet.com/mpu-6050>. (Data obrashhenija: 20.11.2024) [in russian].
8. Afanas'ev P.P. Bepilotnye letatel'nye apparaty: osnovy ustrojstva i funkcionirovanija // – Izd-vo MAI, 2008 g. – s. 654 [in russian].
9. Alldatasheet.com [Jelektronnyj resurs]. URL: <http://www.alldatasheet.com/Atmega328PU>. (Data obrashhenija: 20.11.2024) [in russian].
10. Anbazhagan K. Raspberry Pi - Amazon Alexa Voice Services, Voice controlled home computerization, DS18B20 Temperature Sensor, DHT11 Humidity Sensor, MPU6050 Gyro Sensor, Hall Sensor etc. // – Publisher: Independently Published, 2019. – p.212.
11. Romanova I.K. Traektorii poleta letatel'nyh apparatov // – Izd-vo: Moskovskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet imeni N. Je. Bauman, 2017. – str. 149 [in russian].
12. Sila Koriolisa [Jelektronnyj resurs]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki>. (Data obrashhenija: 20.11.2024) [in russian].
13. Fil'tr Kalmana - Vvedenie [Jelektronnyj resurs]. URL: <https://habr.com/ru/articles/140274> (Data obrashhenija: 22.11.2024) [in russian].
14. Shahtarin B.I. Fil'try Vinera i Kalmana. Uchebnoe posobie dlja vuzov. // – Izd-vo: Gorjachaja linija-Telekom, 2014 g. – s. 408 [in russian].
15. Algoritmy obrabotki informacii navigacionnyh sistem i kompleksov letatel'nyh apparatov / M. S. Selezneva, K. Shen', K. A. Neusypin, A. V. Proletarskij. – Moskva: MGTU im. Bauman, 2018. – 234 s [in russian].
16. Ahmetov K.T., Bolatova A.B., Bajzhuman K.M., Sagi A.A. Problemy ma-shinostroenija: sovremennye tehnologii obrabotki, materialy, mashiny, agregaty. Sbornik statej po materialam Vserossijskoj nauchno-praktičeskoj konferencii. 11-12 oktjabrja 2024g., g. Mahachkala: DGTU, 2024. – 223 s [in russian].

Сведения об авторах:

Ахметов К.Т. – автор корреспонденции, кандидат технических наук, доктор PhD, старший преподаватель кафедры космической техники и технологии, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумиле-ва, ул. Кажымукана, 11, 010000, Астана, Казахстан.

Байжуман К.М. – магистр технических наук, менеджер по проектам, Центр военно-стратегических исследований, ул. Сарайшык, 24, 010000, Астана, Казахстан.

Болатова А.Б. – кандидат технических наук, доцент кафедры «Транс-портная инженерия», Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, 010000, Астана, Казахстан.

Касымов У.Т. – кандидат технических наук, профессор кафедры кос-мической техники и технологии, Евразийский национальный универси-тет им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 11, 010000, Астана, Казахстан.

Akhetov K.T. – corresponding author, candidate of technical sciences, doctor of PhD, senior lecturer of the department of space engineering and technology, L.N. Gumilyov Eurasian national university, Kazymukan street 11, 010000, Astana, Kazakhstan.

Baizhuman K.M. – master of technical sciences, project manager at the center for military-strategic research, Sarayshyk street 24, 010000, Astana, Kazakhstan.

Bolatova A.B. – candidate of technical sciences, associate professor of the department of transport engineering, L.N. Gumilyov Eurasian national university, Kazymukan street 13, 010000, Astana, Kazakhstan.

Kasymov U.T. – candidate of technical sciences, professor of the depart-ment of space engineering and technology, L.N. Gumilyov Eurasian nation-al university, Kazymukan street 11, 010000, Astana, Kazakhstan.

Ахметов К.Т. – хат-хабар үшін авторы, техника ғылымдарының кандидаты, PhD докторы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің ғарыш техникасы және техноло-гиялары кафедрасының аға оқытушысы, Қажымұқан көшесі, 11, 010000, Астана, Қазақстан.

Байжұман Қ.М. – техника ғылымдарының магистрі, әскери-стратегиялық зерттеулер орталығындағы жобалар жөніндегі менеджер, Сарайшық к-сі, 24, 010000, Астана, Қазақстан.

Болатова А.Б. – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Көлік инженерия кафедрасының доценті, Қажымұқан көшесі, 13, 010000, Астана, Қазақстан.

Қасымов У.Т. – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлт-тық университетінің ғарыш техникасы және техно-логиялары кафедрасының профессоры, Қажымұқан көшесі, 11, 010000, Астана, Қазақстан.



Copyright: © 2024 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 50.01.81

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-149-4-256-268>

Обзорная статья

Современные виды машинного зрения для проверки автомобиля

А.Е. Кайратова¹ , Н.С. Камзанов*¹ , Т.С. Бекетов¹ , А.Ж. Абекова² ,
К.К. Забиева³ 

¹НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева», Алматы, Казахстан

²Институт механики и машиноведения имени академика У.А. Джолдасбекоова, Алматы, Казахстан

³Жетысуйский государственный университет имени И.Жансугурова Талдыкорган, Казахстан

E-mail: kairatovaalua@mail.ru

Аннотация В данной научной статье рассматриваются современные типы машинного зрения, которые находят широкое применение в процессе проверки автомобилей на различных этапах их производства и эксплуатации. Машинное зрение представляет собой важный инструмент, позволяющий повысить качество и безопасность автомобилей, а также оптимизировать производственные процессы. В статье обсуждаются ключевые технологии, такие, как световые технологии, которые обеспечивают необходимое освещение для точного анализа изображений, а также обработка изображений, которая позволяет извлекать полезную информацию из визуальных данных.

Кроме того, особое внимание уделяется алгоритмам машинного обучения, которые позволяют системам машинного зрения адаптироваться и улучшать свою точность в процессе работы. Стереозрение как метод также рассматривается в контексте создания трехмерных моделей объектов, что значительно увеличивает точность обнаружения дефектов. В статье акцентируется внимание на автоматизированных методах контроля качества, включая использование камер высокого разрешения, которые способны обнаруживать дефекты, повреждения и несоответствия в конструкции и отделке автомобиля. Эти технологии играют ключевую роль в обеспечении высоких стандартов качества и надежности автомобилей, что, в свою очередь, способствует повышению доверия потребителей к производителям.

Ключевые слова: машинное зрение, дефекты, компьютерное зрение, транспорт, стереозрение, обработка изображений.

Поступила 05.12.2024. Доработана 07.12.2024. Одобрена 12.12.2024. Доступна онлайн 31.12.2024

¹*автор корреспонденции

Введение

В последние годы автомобильная промышленность достигла значительных успехов в технологиях, особенно в сфере контроля качества и процессов проверки. Эти достижения стали возможны благодаря внедрению современных методов и инструментов, которые позволяют повысить эффективность и точность производственных процессов. Одним из таких инструментов является машинное зрение, область, которая объединяет компьютерную науку и искусственный интеллект. Машинное зрение стало важнейшим инструментом для обеспечения безопасности и надежности транспортных средств, так как оно позволяет автоматизировать процессы проверки и обнаружения дефектов.

Современные системы машинного зрения используют камеры высокого разрешения, которые способны захватывать детализированные изображения компонентов автомобилей. Эти изображения затем обрабатываются с помощью сложных алгоритмов глубокого обучения, которые обучаются на больших объемах данных для распознавания различных типов дефектов. Кроме того, методы 3D-сканирования позволяют создавать трехмерные модели объектов, что значительно увеличивает точность обнаружения и анализа дефектов.

Машинное зрение применяется на различных этапах производства, начиная с проверки качества компонентов и заканчивая финальной проверкой готовых автомобилей. Это позволяет не только выявлять дефекты на ранних стадиях, но и предотвращать их дальнейшее распространение, что в свою очередь снижает затраты на исправление ошибок и повышает общую надежность продукции. В результате внедрения технологий машинного зрения производители автомобилей могут гарантировать высокие стандарты качества и безопасности, что является ключевым фактором для удовлетворения потребностей потребителей и повышения их доверия к брендам.

Методология

Камеры высокого разрешения – это усовершенствованные устройства формирования изображений, используемые в автомобильной промышленности для захвата сложных деталей компонентов и поверхностей транспортных средств. Они играют важную роль в процессе контроля качества, облегчая обнаружение дефектов, повышая безопасность и поддерживая строгие стандарты производства.

Использование камер высокого разрешения происходит на автоматизированных производственных линиях, что значительно увеличивает пропускную способность инспекции и снижает вероятность человеческой ошибки. Эта технология характеризуется относительной простотой интеграции, требующей специализированного оборудования и квалифицированного персонала [1].

На рисунке 1 указан процесс использования метода камеры высокого разрешения в специальной лаборатории (рис.1а). Фактическая экспериментальная сцена (рис.1б), где установлена камера на 3-осевых роботизированных алюминиевых руках, которые приводятся в движение мотором по направляющим рельсам

Однако следует признать несколько ограничений. Внедрение камер высокого разрешения требует существенных капиталовложений и надежной вычислительной инфраструктуры для управления и анализа больших объемов данных. Кроме того, эффективность этих камер может быть отрицательно затронута различными условиями освещения, что может привести к расхождениям в результатах. Кроме того, эксплуатация таких систем часто требует специальной подготовки, что создает проблемы при распределении рабочей силы. Повышенная чувствительность этих камер также может приводить к ложным срабатываниям, тем самым увеличивая время инспекции и требуя ненужной доработки [2].

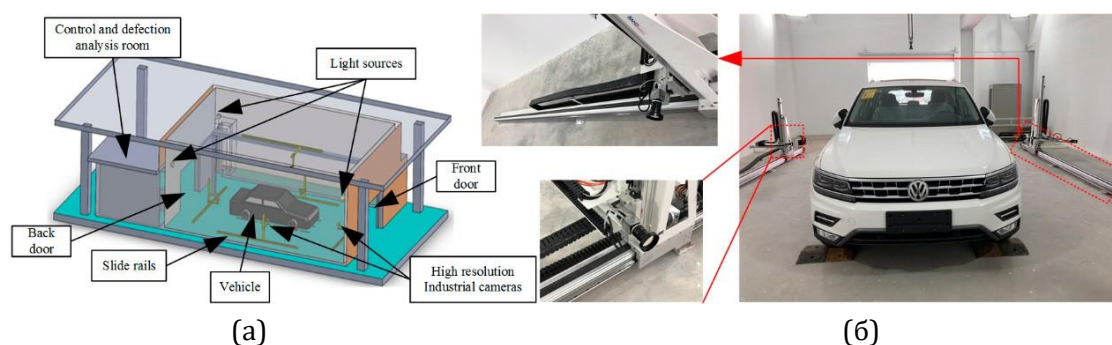


Рисунок 1. Методы с помощью камеры высокого разрешения в лаборатории во время тестирования.

(а) Эскиз лаборатории досмотра транспортных средств. (б) Фактическая экспериментальная сцена. Камера установлена на 3-осевых роботизированных алюминиевых руках, которые приводятся в движение мотором по направляющим рельсам [1].

Стереозрение, или стереоскопическое зрение, – это метод, который облегчает восприятие глубины и трехмерных структур путем обработки двух немного разных изображений, снятых с разных точек обзора, как правило, с использованием двух камер. Этот метод имитирует бинокулярное зрение человека и широко используется в робототехнике, компьютерном зрении и автомобильных технологиях.

Основная концепция стереозрения включает восприятие глубины, что позволяет системам оценивать расстояния до объектов путем анализа различий между изображениями, полученными с камер. Большое различие указывает на то, что объект находится ближе. Методы триангуляции используют известные положения камер и углы захвата изображения для вычисления трехмерных координат точек в пределах сцены. Часто системы стереозрения генерируют облако точек – набор данных точек в трехмерном пространстве – представляющее поверхности объектов.

В автомобильной промышленности стереозрение играет важную роль в нескольких приложениях. Оно используется в передовых системах помощи водителю (ADAS) для обнаружения препятствий, улучшая функции безопасности, такие, как предотвращение столкновений, путем измерения расстояний до близлежащих препятствий. Кроме того, стереозрение помогает создавать подробные 3D-карты окрестностей автомобиля, улучшать навигационные системы и поддерживать технологии автономного вождения.

В производстве эта технология используется для контроля качества, проверки точности размеров компонентов и обнаружения дефектов путем сравнения фактической геометрии с моделями САПР. Кроме того, она помогает роботам на сборочных линиях автомобилей в задачах, требующих точной манипуляции и размещения деталей.

Преимущества стереозрения включают высокую точность глубинной информации, что необходимо для приложений, требующих точности. Благодаря достижениям в вычислительной мощности системы стереозрения могут выполнять обработку в реальном времени, обеспечивая немедленную обратную связь в динамических средах. Более того, эти системы демонстрируют надежность, эффективно работая в условиях изменяющегося освещения и управляя окклюзиями более умело, чем некоторые другие технологии измерения глубины. Принцип работы стереозрения указан на рисунке 2.

Однако следует признать проблемы, связанные со стереозрением. Точное восприятие глубины требует точной калибровки камер, что может занять много времени и потребовать специализированного оборудования. Вычислительная сложность, связанная с обработкой стереоизображений и расчетом глубины, может быть интенсивной, требуя мощного оборудования. Кроме того, изменения в условиях освещения могут отрицательно влиять на качество изображения, что приводит к неточности оценки глубины. Наконец, эффективный диапазон восприятия глубины может быть ограничен, особенно в условиях слабого освещения или при обнаружении очень близких объектов [3].

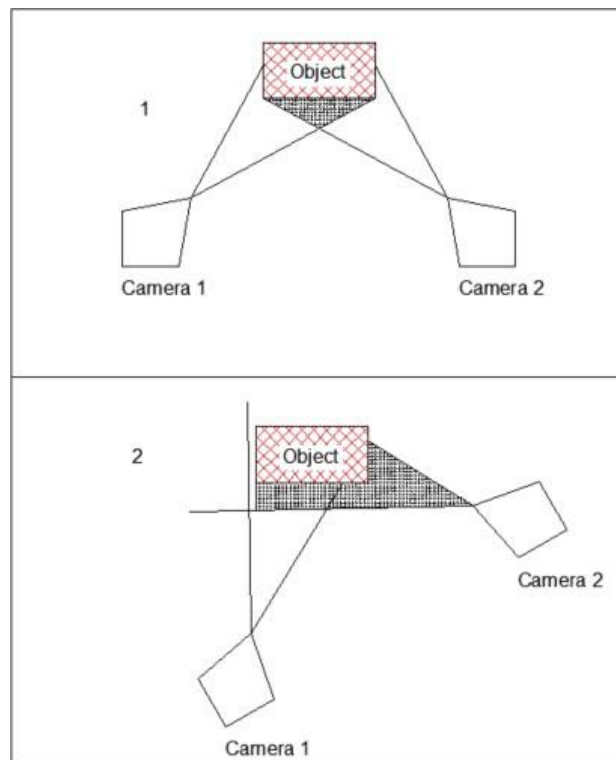


Рисунок 2. Принцип работы стереозрения [3].

Термография – это метод неразрушающего контроля (NDT), который использует

инфракрасные камеры для обнаружения изменений температуры на поверхности объектов. В автомобильной промышленности он используется для выявления дефектов путем визуализации тепловых моделей, которые могут указывать на такие проблемы, как неисправности изоляции, утечки или структурные дефекты.

Основная концепция термографии – это инфракрасная визуализация, которая улавливает инфракрасное излучение, испускаемое объектами, и преобразует его в видимое изображение, отображающее разницу температур. Более теплые области могут указывать на потенциальные дефекты. Этот метод также основан на анализе теплопередачи, который включает понимание того, как тепло перемещается через материалы; дефекты могут нарушать нормальный теплообмен, что делает их обнаруживаемыми через тепловые аномалии. Важно то, что термография – это метод неразрушающего контроля, позволяющий проводить осмотр, не повреждая транспортное средство или его компоненты.

В автомобильной промышленности термография имеет несколько практических применений. Она эффективна для проверки изоляции и тепловых барьеров, выявления областей, где изоляционные материалы деградировали или отсутствуют, что приводит к перегреву или тепловой неэффективности. Кроме того, он служит для обнаружения утечек, локализации утечек в системах охлаждения, топливных магистралях и системах кондиционирования воздуха путем выявления аномальных температурных схем. Этот метод также используется для оценки тормозных систем, оценки компонентов тормозов путем обнаружения перегрева, что может указывать на такие проблемы, как заедание суппорта или изношенные колодки. Кроме того, термография может оценивать качество сварки, выявляя проблемы структурной целостности, которые могут быть не видны при стандартных визуальных осмотрах. Наконец, она помогает в контроле электрических систем, обнаружении горячих точек в электрических соединениях, проводке и компонентах, чтобы помочь предотвратить отказы из-за перегрева. Преимущества термографии включают скорость и эффективность, поскольку она позволяет проводить быстрые проверки на больших площадях, значительно сокращая время проверки по сравнению с традиционными методами. Его неразрушающий характер делает его идеальным для плановых проверок и обслуживания без повреждения транспортного средства или его компонентов. Более того, тепловые изображения обеспечивают четкое визуальное представление изменений температуры, облегчая интерпретацию результатов. Раннее обнаружение дефектов может предотвратить более серьезные проблемы, сокращая расходы на ремонт и повышая безопасность транспортного средства [4].

Однако следует признать проблемы, связанные с термографией. Возникает сложность интерпретации, поскольку анализ тепловых изображений требует экспертных знаний; на изменения температуры могут влиять различные факторы, включая условия окружающей среды. Кроме того, состояния поверхности объекта могут влиять на точность, поскольку поверхностные покрытия, такие, как краска или грязь, могут препятствовать инфракрасному излучению. Регулярная калибровка инфракрасных камер необходима для обеспечения точных показаний и надежных результатов. Наконец,

термография, в первую очередь, обеспечивает показания температуры поверхности, которые могут неполностью отражать проблемы, расположенные глубже в материалах, что представляет собой ограничение в ее применении [5].

Распознавание текстур – это метод компьютерного зрения, который анализирует узоры и структуры поверхностей для идентификации и классификации материалов. В автомобильной промышленности этот метод используется для обнаружения дефектов путем изучения текстуры компонентов транспортного средства, тем самым гарантируя качество и производительность.

Основным аспектом распознавания текстур является анализ текстур, который относится к визуальному и тактильному качеству поверхности, охватывающему узоры, шероховатость и зернистость. Алгоритмы оценивают эти характеристики для выявления несоответствий, которые могут указывать на дефекты. Кроме того, методы извлечения признаков, такие, как локальные бинарные узоры (LBP), фильтры Габора и признаки Харалика, используются для извлечения связанных с текстурой признаков из изображений, что составляет основу для классификации дефектов. Интеграция машинного обучения дополнительно улучшает распознавание текстур, позволяя алгоритмам повышать точность обнаружения дефектов путем обучения моделей для различения нормальных и дефектных текстур.

В автомобильной промышленности распознавание текстур имеет несколько применений. Оно особенно эффективно для обнаружения дефектов поверхности, выявляя такие проблемы, как царапины, вмятины и неровная окраска на внешних поверхностях транспортных средств, путем анализа узоров поверхности. Этот метод также играет важную роль в контроле качества материалов, помогая оценить качество материалов, используемых в производстве, и обнаруживая такие проблемы, как расслоение или неправильное склеивание. Кроме того, распознавание текстуры применяется при инспекции сварных швов, где анализ текстуры сварных швов может выявить несоответствия, указывающие на структурные слабости или неполное слияние. Он также может оценивать внутренние компоненты, гарантируя, что обивка и внутренняя отделка соответствуют проектным спецификациям. Кроме того, интегрированное в автоматизированные системы инспекции, распознавание текстуры облегчает мониторинг в реальном времени и контроль качества в ходе производственных процессов.

Преимущества распознавания текстуры включают высокую чувствительность, позволяющую обнаруживать тонкие изменения в рисунках поверхности, которые могут пропустить традиционные методы инспекции. Этот метод также представляет значительный потенциал автоматизации, позволяя повысить эффективность инспекции и снизить трудозатраты. Последовательность является еще одним преимуществом, поскольку автоматизированный анализ текстуры дает единообразные результаты, сводя к минимуму изменчивость, связанную с ручными проверками. Кроме того, распознавание текстуры можно эффективно интегрировать с другими методами инспекции, такими, как анализ цвета или тепловизионная съемка, для обеспечения комплексной оценки качества.

При помощи распознавания текстур можно воспроизвести оценку предлагаемого

алгоритма, работающего с дефектом вблизи на образце крышки топливного бака (рис.3а), также в области обнаружения на крышке топливного бака рисунка при помощи 3D-представление увеличенной области (рис.3б), 3D-представление увеличенной области (вид 2) (рис. 3в), 3D-карта λ_1 в DBHM (рис. 3г).

Однако существуют проблемы, связанные с этим методом. Сложность текстурных узоров представляет собой значительное препятствие, поскольку изменчивая природа текстур затрудняет разработку алгоритмов, которые точно различают нормальные и дефектные узоры. Освещение и условия окружающей среды также могут влиять на производительность систем распознавания текстур, поскольку изменения в освещении могут изменить внешний вид текстур. Кроме того, эффективные модели машинного обучения требуют значительных объемов маркированных обучающих данных, которые может быть сложно получить. Наконец, вычислительные требования алгоритмов распознавания текстур могут быть значительными, требуя передового оборудования для обработки в реальном времени.

Подводя итог, распознавание текстур является мощным методом обнаружения дефектов в автомобильной промышленности, предлагающим высокую чувствительность и значительный потенциал автоматизации. Тем не менее, успешная реализация требует решения проблем, связанных со сложностью, условиями окружающей среды и вычислительными требованиями [6].

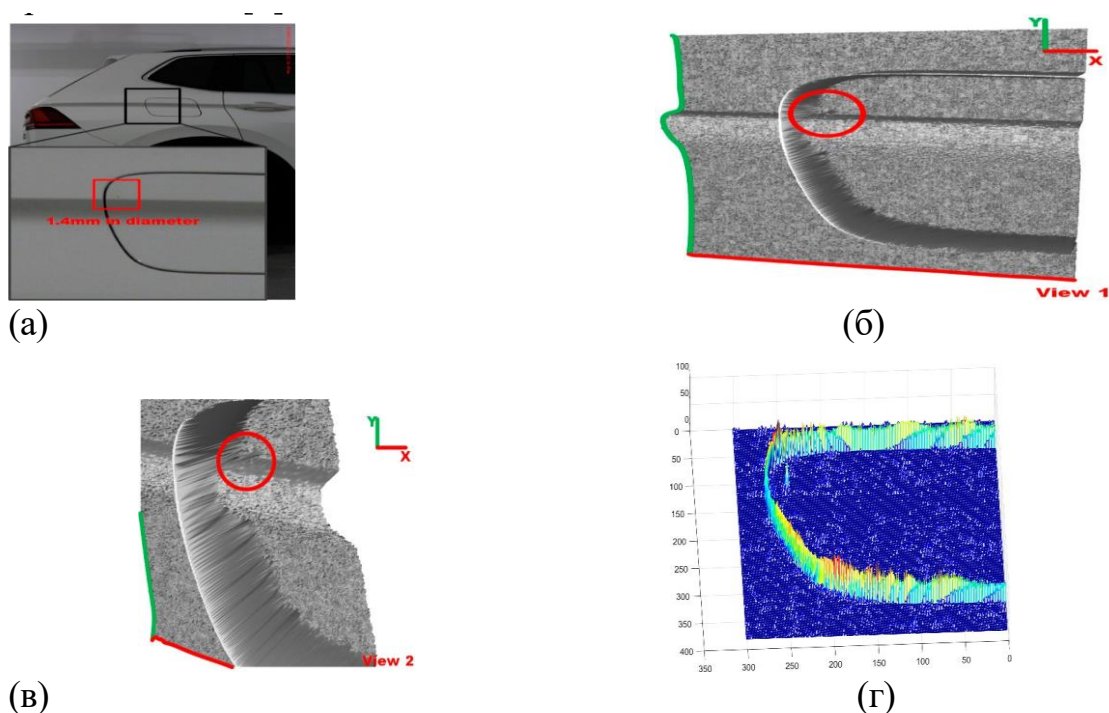


Рисунок 3. Пример использования метода распознавания текстур: оценка предлагаемого алгоритма, работающего с дефектом вблизи крышки топливного бака.

(а) Область обнаружения на крышке топливного бака; (б) 3D-представление увеличенной области (вид 1); (в) 3D-представление увеличенной области (вид 2); (г) 3D-карта λ_1 в DBHM [6].

Обработка изображений – это технологический подход, который использует алгоритмы и программное обеспечение для анализа и обработки изображений для извлечения значимой информации. В автомобильной промышленности обработка изображений используется для обнаружения дефектов в компонентах и поверхностях транспортных средств путем анализа изображений с высоким разрешением, полученных во время проверок.

Применение систем обработки изображений повышает точность обнаружения дефектов, значительно сокращая человеческие ошибки и обеспечивая соответствие стандартам качества. Многие системы способны выполнять анализ в реальном времени, что позволяет быстро выявлять дефекты и оперативно принимать корректирующие меры на производственной линии. Эта возможность не только повышает общую эффективность производства, но и способствует упреждающему подходу к обеспечению качества, позволяя производителям решать проблемы до их обострения. Кроме того, автоматизация посредством обработки изображений сводит к минимуму необходимость ручных проверок, тем самым ускоряя весь производственный процесс и позволяя операторам-людям сосредоточиться на более сложных задачах.

В дополнение к этим преимуществам системы обработки изображений могут быть интегрированы с передовыми методами машинного обучения для постоянного улучшения алгоритмов обнаружения. Эта адаптивность позволяет системам развиваться в соответствии с меняющимися производственными средами и моделями дефектов, обеспечивая долгосрочную эффективность. Более того, данные, собранные при обработке изображений, можно использовать для комплексной аналитики качества, помогая принимать обоснованные решения и улучшать процессы.

Несмотря на некоторые проблемы, связанные с внедрением систем обработки изображений, многие из них можно эффективно смягчить. Хотя первоначальная разработка этих сложных систем может потребовать значительных инвестиций в технологии, окупаемость инвестиций часто достигается за счет повышения эффективности производства и снижения уровня дефектов. Современные решения для обработки изображений выигрывают от достижений в вычислительной мощности, что делает их более доступными и экономически эффективными с течением времени.

Производительность систем обработки изображений действительно может зависеть от условий освещения; однако современные решения часто включают адаптивные алгоритмы, которые компенсируют переменное освещение, тем самым повышая надежность. Хотя высококачественные маркированные наборы данных необходимы для обучения моделей машинного обучения, новые методы полуконтролируемого и неконтролируемого обучения позволяют использовать немаркированные данные, тем самым сокращая время и затраты, связанные с созданием наборов данных.

При использовании метода обработки изображения можно определить дефекты в разных областях кузова автомобиля. На рисунке 4 указаны дефекты в разных диапазонах автомобиля: (рис.4а) один дефект около края крышки багажника на крыше автомобиля, (рис.4б) два дефекта около края поверхности крыла, (рис. 4в) три дефекта – один на крышке топливного бака, два около края поверхности крыла, (рис. 4г) два дефекта – один на ручке, один около линии стиля.

Результаты и Обсуждение

Начальное время настройки систем обработки изображений может временно нарушить производство; однако при тщательном планировании и внедрении эти системы можно плавно интегрировать в существующие рабочие процессы. Сбалансированный подход, включающий как автоматизированные проверки, так и человеческий надзор, гарантирует, что критические дефекты, требующие человеческого суждения, не будут упущены из виду [7].

Хотя риск ложных отрицательных результатов может представлять собой проблему, постоянное совершенствование алгоритмической точности и интеграция методов мультимодальной проверки (например, объединение обработки изображений с другими методами проверки) помогают еще больше снизить эти риски, повышая общий уровень контроля качества.

Подводя итог, можно сказать, что обработка изображений представляет собой мощный инструмент для обнаружения дефектов в автомобильной промышленности, предлагающий многочисленные преимущества, такие, как повышенная точность, эффективность и адаптивность. Решая проблемы внедрения с помощью инновационных решений, производители могут использовать обработку изображений для достижения превосходного контроля качества и эксплуатационного совершенства [7].

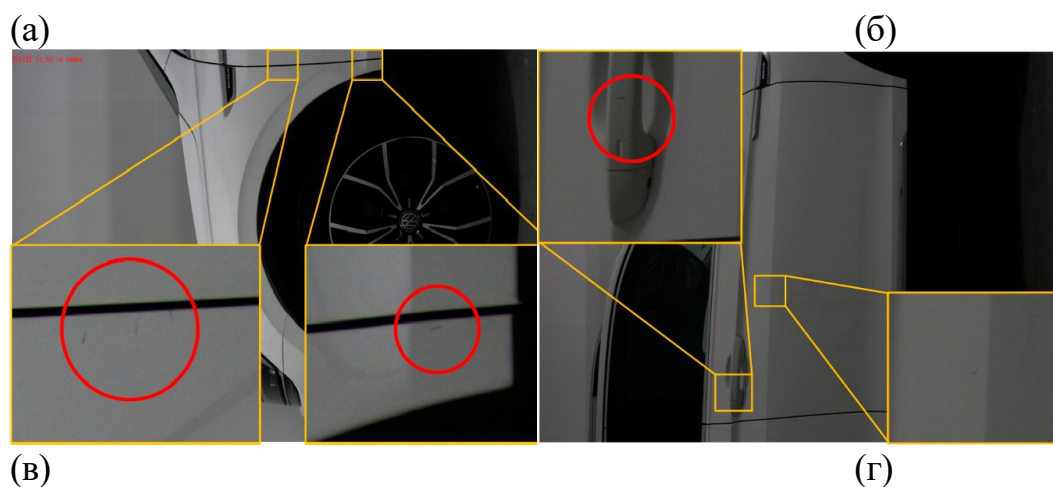


Рисунок 4. Набор примеров обнаружения с помощью метода обработки изображений, показывающих обнаружение дефектов в разных положениях кузова автомобиля: (а) один дефект около края крышки багажника на крыше автомобиля, (б) два дефекта около края поверхности крыла, (в) три дефекта – один на крышке топливного бака, два около края поверхности крыла, (г) два дефекта – один на ручке, один около линии стиля [6].

Заключение

Следует подчеркнуть, что обработка изображений представляет собой один из наиболее эффективных методов выявления дефектов в автомобильной отрасли. Ее способность значительно повышать точность и эффективность в сочетании с возможностями анализа в реальном времени превосходит традиционные подходы к проверке. Системы обработки изображений минимизируют вероятность человеческих ошибок и обеспечивают соответствие строгим стандартам качества, создавая надежную основу для контроля качества. Внедрение современных алгоритмов машинного обучения дополнительно усиливает их адаптивные возможности, позволяя постоянно улучшать эффективность обнаружения дефектов. С развитием технологий и решением возникающих проблем, связанных с их внедрением, обработка изображений, безусловно, останется основополагающим элементом современных производственных практик. Это будет способствовать высокому уровню контроля качества и операционному совершенству в автомобильной индустрии, обеспечивая надежность и безопасность транспортных средств. Таким образом, обработка изображений не только улучшает производственные процессы, но и формирует будущее автомобильной отрасли, где качество и безопасность становятся приоритетами.

Вклад авторов:

Камзанов Н.С.: разработал общую концепцию статьи и определил основные направления работы.

Кайратова А.Е.: провела теоретический анализ технологий машинного зрения, а также выполнила редактирование и оформление материала.

Бекетов Т.С.: занимался подготовкой иллюстративных примеров и тестированием методов на практике.

Абекова А.Ж., Забиева К.К.: участвовали в оценке точности и надежности систем машинного зрения, а также внесли вклад в интерпретацию результатов и их практическое применение в процессе проверки автомобилей.

Список литературы

1. Fan, W.; Lu, C.; Tsujino, K. Автоматический метод машинного зрения для обнаружения дефектов на кузове автомобиля: материалы 7-й международной конференции по науке и технологиям осведомленности (iCAST), Циньхуандао, Китай, 22–24 сентября 2015 года. С. 13–18.
2. Kamani, P.; Noursadeghi, E.; Afshar, A.; Towhidkhah, F. Автоматическое обнаружение и классификация дефектов краски кузова автомобиля: материалы 7-й Иранской конференции по машинному зрению и обработке изображений, Тегеран, Иран, 16–17 ноября 2011 года. С. 1–6.
3. Kamani, P.; Afshar, A.; Towhidkhah, F.; Roghani, E. Инспекция дефектов краски кузова автомобиля с использованием меры инвариантности вращения локальной дисперсии и метода опорных векторов "один против всех": материалы Первой международной конференции по информатике и вычислительной интеллекту, Бандунг, Индонезия, 12–14 декабря 2011 года. С. 244–249.

4. Chung, Y.C.; Chang, M. Визуализация тонких дефектов внешних панелей кузова автомобиля: материалы международной совместной конференции SICE-ICASE, Пусан, Корея, 18–21 октября 2006 года. С. 4639–4642.

5. Leon, F.P.; Kammel, S. Инспекция зеркальных и окрашенных поверхностей с использованием централизованных методов слияния. Измерение 2006, 39, 536–546.

6. Jiang J, Jin Z, Wang B, Ma L и Cui Y 2020. Оператор Собеля в сочетании с алгоритмом статистики патчей для обнаружения дефектов ткани. Транзакции. Интернет Инф. Систем. 14 687–701.

7. Lu H и Yan J 2020. Обнаружение краев препятствий оконной рамы на основе улучшенного оператора Канни. 2019. 3-я международная конференция по электронной информационной технологии и компьютерной инженерии (EITCE) (IEEE).

8. Tong J, Shi H, Wu C, Jiang H и Yang T 2018. Коррекция асимметрии и оценка качества изображений рассады на основе оператора Канни и преобразования Хафа. Компьютер. Электрон. Сельское хозяйство. 155 461–72.

Қайратова А.Е.¹, Камзанов Н.С.^{*1}, Бекетов Т.С.¹, Абекова А.Ж.², Забиева К.К.³

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

²У.А. Джолдасбеков атындағы механика және машинатану институты, Алматы, Қазақстан

³Жетысуйский государственный университет имени И. Жансугурова

Талдықорған, Қазақстан

Автокөлікті тексеруге арналған машиналық көрудің заманауи түрлері

Аңдатпа. Бұл ғылыми мақалада қазіргі заманғы машиналық көрудің заманауи түрлері қарастырылады, олар автомобильдерді өндіру мен пайдалану кезеңдерінде тексеру үшін кеңінен қолданылады. Машиналық көру – автомобильдердің сапасы мен қауіпсіздігін арттыруға, сондай-ақ өндірістік процестерді оңтайландыруға мүмкіндік беретін маңызды құрал. Мақалада дәл суреттерді талдау үшін қажетті жарықтандыруды қамтамасыз ететін жарық технологиялары, сондай-ақ визуалды деректерден пайдалы ақпаратты алу үшін қолданылатын кескінді өңдеу технологиялары талқыланады.

Сонымен қатар, машиналық оқыту алгоритмдеріне ерекше назар аударылады, олар машиналық көру жүйелерінің жұмыс барысында бейімделуіне және дәлдігін арттыруына мүмкіндік береді. Стереокөру әдісі де объектілердің үш өлшемді модельдерін жасау контекстінде қарастырылады, бұл ақауларды анықтауда дәлдікті едәуір арттырады. Мақалада жоғары ажыратымдылықтағы камераларды пайдалану арқылы ақауларды, зақымдарды және автомобильдің конструкциясы мен әрлеуіндегі сәйкессіздіктерді анықтауға арналған автоматтандырылған сапаны бақылау әдістеріне назар аударылады. Бұл технологиялар автомобильдердің жоғары сапа мен сенімділік стандарттарын қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады, бұл өз кезегінде тұтынушылардың өндірушілерге деген сенімін арттыруға ықпал етеді.

Түйін сөздер: машиналық көру, ақаулар, компьютерлік көру, көлік, стерео көру, кескінді өңдеу.

Kairatova A.E.¹, Kamzanov N.S.*¹, Beketov T.S.¹, Abekova A.Zh.², Zabiyeva K.K.³

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

²*Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering*

³*Zhetysu State University named after I. Zhansugurov*

Modern types of machine vision for vehicle inspection

Abstract. In this scientific article, modern types of machine vision are examined, which are widely used in the process of inspecting vehicles at various stages of their production and operation. Machine vision serves as an important tool that enhances the quality and safety of vehicles, as well as optimizes production processes. The article discusses key technologies such as lighting technologies that provide the necessary illumination for accurate image analysis, as well as image processing, which allows for the extraction of useful information from visual data.

Additionally, special attention is given to machine learning algorithms that enable machine vision systems to adapt and improve their accuracy over time. Stereovision, as a method, is also considered in the context of creating three-dimensional models of objects, significantly increasing the accuracy of defect detection. The article emphasizes automated quality control methods, including the use of high-resolution cameras capable of detecting defects, damages, and discrepancies in the design and finish of vehicles. These technologies play a crucial role in ensuring high standards of quality and reliability in vehicles, which, in turn, contributes to increasing consumer trust in manufacturers.

Keywords: machine vision, defects, computer vision, transport, stereo vision, image processing.

References

1. Fan, W.; Lu, C.; Tsujino, K. An automatic machine vision method for the flaw detection on car's body. In Proceedings of the 2015 IEEE 7th International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST), Qinhuangdao, China, 22–24 September 2015; pp. 13–18.
2. Kamani, P.; Noursadeghi, E.; Afshar, A.; Towhidkhah, F. Automatic paint defect detection and classification of car body. In Proceedings of the 2011 7th Iranian Conference on Machine Vision and Image Processing, Tehran, Iran, 16–17 November 2011; pp. 1–6. Kamani, P.; Afshar, A.; Towhidkhah, F.; Roghani, E. Car body paint defect inspection using rotation invariant measure of the local variance and one-against-all support vector machine. In Proceedings of the 2011
4. First International Conference on Informatics and Computational Intelligence, Bandung, Indonesia, 12–14 December 2011; pp. 244–249. Chung, Y.C.; Chang, M. Visualization of subtle defects of car body outer panels. In Proceedings of the SICE-ICASE International Joint Conference, Busan, Korea, 18–21 October 2006; pp. 4639–4642.
5. Leon, F.P.; Kammel, S. Inspection of specular and painted surfaces with centralized fusion techniques. *Measurement* 2006, 39, 536–546.
6. Jiang J, Jin Z, Wang B, Ma L and Cui Y 2020 A sobel operator combined with patch statistics algorithm for fabric defect detection *Trans. Internet Inf. Syst.* 14 687–701
7. Lu H and Yan J 2020 Window frame obstacle edge detection based on improved canny operator 2019 3rd Int. Conf. on

8. Electronic Information Technology and Computer Engineering (EITCE) (IEEE) Tong J, Shi H, Wu C, Jiang H and Yang T 2018 Skewness correction and quality evaluation of plug seedling images based on canny operator and hough transform Comput.Electron. Agric. 155 461–72

Сведения об авторах:

Камзанов Н.С. – автор для корреспонденции, доктор PhD, руководитель ОП «Транспортная инженерия», ассоциированный профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, ул. Сатпаева, 22, 050060, Алматы, Казахстан.

Қайратова А.Е. – магистрант, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, ул. Сатпаева, 22, 050060, Алматы, Казахстан.

Бекетов Т.С. – докторант, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, ул. Сатпаева, 22, 050060, Алматы, Казахстан.

Абекова А.Ж. – научный сотрудник, Институт механики и машиноведения имени академика У.А.Джолдасбекова, улица Шевченко, 29, 050002 Алматы, Казахстан.

Забиева К.К. – магистр педагогических наук, Жетысуйский государственный университет имени И.Жансугурова

Камзанов Н.С. – 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

Қайратова А.Е. – магистрант, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Сәтбаев көшесі 22, 050060, Алматы, Қазақстан

Бекетов Т.С. – докторант, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Сәтбаев көшесі 22, 050060, Алматы, Қазақстан.

Абекова А.Ж. – ғылыми қызметкер, У.А. Джолдасбеков атындағы механика және машинатану институты, Шевченко көшесі 29, 050002, Алматы, Қазақстан;

Забиева К.К. – педагогика ғылымдарының магистрі, И. Жансүгіров атындағы Жетісу мемлекеттік университеті

Kamzanov N.S. – corresponding author, PhD, Head of OP "Transport Engineer-ing", Associate Professor, K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical Uni-versity, 22 Satpayev str., 050060, Almaty, Kazakhstan

Kairatova A.E. – master's student, K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, 22 Satpayev str., 050060, Almaty, Kazakhstan

Beketov T.S. – doctoral student, K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, 22 Satpayev str., 050060, Almaty, Kazakhstan.

Abekova A.Zh. – Scientific Associate, Institute of mechanics and mechanical engineering named after academician U.A. Joldasbekoova, Shevchenko street 29, 050002 Almaty, Kazakhstan;

Zabiyeva K.K. – Master of Pedagogical Sciences, Zhetysu State University named after I.Zhansugurov



Copyright: © 2024 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 06.81.23

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-149-4-269-281>

Научная статья

Методика построения глобальной матрицы жесткости для решения задач напряженно-деформированного состояния конструкций с использованием метода конечных элементов

А.Е. Тойлыбаев¹, А.С. Айтхожина², С.Р. Турсынбекова², Ө.Әбдірашев²,
У.А. Усипбаев³, Т. Мутап²

¹АЛТУ университеті и.м. М.Тынышпаева, Алматы

²АО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Астана, Казахстан

³ЮКУ имени М. Ауезова, Шымкент

(E-mail: *muldagaliyeva.ainur@gmail.com)

Аннотация. В статье рассматриваются методы построения матрицы жесткости систем на основании матриц жесткости конечных элементов. Описывается один из эффективных способов регулярной дискретизации расчетной области, что позволяет более точно учитывать внешние нагрузки, включая силы тяжести. Приведены формулы для расчета узловых нагрузок и их взаимосвязей в контексте пространственного моделирования. Также обсуждаются особенности нумерации узлов и адресации элементов глобальной матрицы жесткости, что обеспечивает адекватную модель для анализа напряженно-деформированного состояния конструкций. Применение предложенного метода позволяет эффективно определять реакции конструкций дорожных одежд на нагрузки от транспортных средств. Обсуждаются основные этапы формирования системы уравнений для расчета прочностных характеристик конструкций, включая выбор конечных элементов, формулировку локальных матриц жесткости, их трансформацию в глобальную систему координат и последующую сборку глобальной матрицы жесткости. Особое внимание уделено вопросам корректного учета граничных условий и методов оптимизации вычислений. Приведены алгоритмы, позволяющие автоматизировать процесс формирования матрицы, а также минимизировать погрешности, связанные с численной реализацией метода. Описанные подходы иллюстрируются примерами, демонстрирующими эффективность предложенных решений при моделировании сложных конструкций. Рассматривается влияние сеточной дискретизации на точность расчетов и стабильность решений.

Ключевые слова: метод конечных элементов, матрица жесткости, напряженно-деформированное состояние, транспортные нагрузки, регулярная дискретизация, узловые нагрузки, глобальная матрица жесткости, конструкция дорожных одежд.

Поступила 05.12.2024. Доработана 07.12.2024. Одобрена 12.12.2024. Доступна онлайн 31.12.2024

Введение

Методику построения матрицы жесткости системы с использованием метода конечных элементов (МКЭ) необходимо сформулировать с учетом важности данного подхода для анализа напряженно-деформированного состояния конструкций. Этот метод является основой для решения задач, связанных с механикой материалов и строительной механикой, в том числе при проектировании дорожных конструкций. В последние годы метод конечных элементов активно используется для численного моделирования различных типов нагрузок и воздействия на элементы конструкций, что позволяет точно оценивать их прочностные характеристики и деформационные свойства.

В данном исследовании рассматривается эффективный способ построения глобальной матрицы жесткости системы $[K]$ через объединение матриц жесткости отдельных элементов $[k]$, который применяется при регулярной дискретизации расчетной области на конечные элементы. Метод МКЭ, в рамках которого внешние силы воспринимаются узловыми точками элементов, позволяет получить точное решение задач, связанных с анализом напряжений и деформаций в различных строительных структурах, включая дорожные покрытия.

Мы используем методику, основанную на разбиении объемных элементов на тетраэдры, что упрощает учет их взаимодействий и позволяет строить точные модели для сложных конструкций. Особое внимание уделяется правильному распределению сил тяжести и узловых нагрузок, что также важно для моделирования в рамках МКЭ.

Данная методика, представившая собой систему уравнений для сил в каждой узловой точке, позволяет учитывать разнообразные воздействия и точным образом прогнозировать поведение конструкций, в том числе под воздействием транспортных нагрузок. Это особенно актуально для дорожных сооружений, где эффективное распределение усилий и корректная оценка деформаций обеспечивают безопасность и долговечность конструкции.

Методология

Известно несколько способов построения матрицы жесткости системы $[K]$ из матриц жесткости элементов $[k]$ при решении задач о напряженно-деформированном состоянии элементов конструкций и сооружений [1, 2]. Мы воспользуемся одним из них, который является более эффективным при регулярной дискретизации расчетной области на совокупность конечных элементов. В методе конечных элементов внешние силы считаются приложенными в узлах. Вектор узловых сил записывается

$$\{F\} = \{F_{x1}, F_{xj}, \dots, F_{zj}\}^T. \quad (1)$$

В случае необходимости учета сил тяжести вес каждого элемента определяется путем умножения его объема на объемный вес материала соответствующего слоя конструкции

(или элемента), который делится поровну между узлами, окружающими элемент. Если в узле i сходятся вершины нескольких элементов, то узловые нагрузки определяются по формуле:

$$Y_i = \frac{1}{t} \sum_{m=1}^t V_m \gamma_m, \quad x_i=y_i=0, \quad (2)$$

где t – количество элементов, сходящихся в узле;

V_m – объем элемента;

γ_m – объемный вес материала элемента.

Регулярная разбивка расчетной области позволяет легко устанавливать взаимосвязь в нумерации узловых точек, входящих в так называемое « i -объединение» произвольного узла с номером i аналитическими зависимостями. На контуре, т.е. на поверхностях расчетной области тип « i -объединения» отличается от « i -объединений», расположенных внутри области. Нумерацию узлов производим, начиная с верхней поверхности в направлении оси OX . Если обозначим: NN – число узлов в направлении Y ; NM – число узлов в направлении X ; NB – число узлов в направлении Z , то общее число узлов:

$$NP = NN \cdot NM \cdot NB. \quad (3)$$

Число узлов на вертикальной плоскости:

$$NP = NN \cdot NM. \quad (4)$$

Воспользуясь этими обозначениями, определим взаимосвязь всех узлов, входящих в « i -объединение».

Известен способ деления «кирпичика» с номером i на 6 тетраэдров, имеющих общую вершину также с номером i . Сначала кирпичики делятся на две части при помощи плоскости, проходящей через вершины 1, 7, 8 и 2 ($i, i + NN + NP, i + NN + NP + 1$ и $i + 1$). Правую часть обозначим через $H=0$, а левую – $H=1$.

Каждая из этих частей, в свою очередь, делится на три тетраэдра. Присвоим им индексы $C=0, C=1, C=2$. Для всех шести тетраэдров общим узлом будет i . Остальные узлы, обозначаемые через j, k и l нумеруются следующим образом. Если смотреть со стороны вершины i рассматриваемого тетраэдра, то вершины имеют номера j, k и l последовательно при обходе против часовой стрелки.

Общие выражения для вычисления номеров вершин-узлов любого элемента I -тетраэдра, входящего в «кирпичик», записываются следующими формулами:

$$i = NN \cdot (M - 1) + N + (B - 1) \cdot NP, \quad (5)$$

$$j = i + 1 + NN \cdot (1 - H) + NP \cdot H, \quad (6)$$

$$k = i + NN \cdot (1 - H) + NN \cdot H \cdot ((3c - c^2) \cdot 0,5 + (3c - c^2) \cdot 0,5 \cdot NP + (1 - H) \cdot (2c - c^2) + H \cdot (1 - (2c - c^2)), \quad (7)$$

$$l = NN \cdot (1 - (2c^2)) + NP \cdot H + NP(1-H) \cdot (1 - (2c^2)) + (1-H) \cdot (3c^2) \cdot 0,5 + (1 - (3c^2)) \cdot 0,5 \cdot H + i \quad (8)$$

Так как максимальное число узлов, входящих в “i – объединение”, равно 19, при рассмотрении пространственных задач механики число коэффициентов и компонент перемещений будет равно 57 в каждом уравнении равновесия. На граничных поверхностях расчетной области, где число узлов, входящих в “i-объединение”, меньше 57, сохраняется та же форма записи уравнений. Но при составлении МЖС коэффициенты при компонентах перемещений узлов, являющихся фиктивными, приравниваются нулю.

Общая форма записи уравнение МКЭ для горизонтальных составляющих сил в этом случае имеет вид.

$$\begin{aligned} F[i] = & K[i,1] \cdot U[i-NN-NP-1] + K[i,2] \cdot U[i-NP-1] + K[i,3] \cdot U[i-NN-NP] + \\ & + K[i,4] \cdot U[i-NP] + K[i,5] \cdot U[i-NN-1] + K[i,6] \cdot U[i-1] + K[i,7] \cdot U[i-NN] + \\ & + K[i,8] \cdot U[i] + K[i,9] \cdot U[i+NN] + K[i,10] \cdot U[i+1] + K[i,11] \cdot U[i+NN+1] + \\ & + K[i,12] \cdot U[i+NP] + K[i,13] \cdot U[i+NN+NP] + K[i,14] \cdot U[i+NP+1] + \\ & + K[i,15] \cdot U[i+NN+NP+1] + K[i,16] \cdot U[i+NP-1] + K[i,17] \cdot U[i+NN-1] + \\ & + K[i,18] \cdot U[i-NN+1] + K[i,19] \cdot U[i-NP+1] + K[i,20] \cdot U[i-NN-NP-1+NPP] + \\ & + K[i,21] \cdot U[i-NP-1+NPP] + K[i,22] \cdot U[i-NN-NP+NPP] + \\ & + K[i,23] \cdot U[i-NP+NPP] + K[i,24] \cdot U[i-NN-1+NPP] + K[i,25] \cdot U[i-1+NPP] + \\ & + K[i,26] \cdot U[i-NN+NPP] + K[i,27] \cdot U[i+NPP] + K[i,28] \cdot U[i+NN+NPP] + \\ & + K[i,29] \cdot U[i+1+NPP] + K[i,30] \cdot U[i+NN+1+NPP] + K[i,31] \cdot U[i+NP+NPP] + \\ & + K[i,32] \cdot U[i+NN+NPP] + K[i,33] \cdot U[i+NP+1+NPP] + \\ & + K[i,34] \cdot U[i+NN+NPP] + K[i,35] \cdot U[i+NP-1+NPP] + \\ & + K[i,36] \cdot U[i+NN-1+NPP] + K[i,37] \cdot U[i-NN+1+NPP] + \\ & + K[i,38] \cdot U[i-NP+1+NPP] + K[i,39] \cdot U[i-NN-NP1+NPP2] + \\ & + K[i,40] \cdot U[i-NP-1+NPP2] + K[i,41] \cdot U[i-NN-NP+NPP2] + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+K[i,42] \cdot U[i-NP+NPP2]+K[i,43] \cdot U[i-NN-1+NPP2]+ \\
 &+K[i,44] \cdot U[i-1+NPP2]+K[i,45] \cdot U[i-NN+NPP2]+ \\
 &+K[i,46] \cdot U[i+NPP2]+K[i,47] \cdot U[i+NN+NPP2]+K[i,48] \cdot U[i+1+NPP2]+ \\
 &+K[i,49] \cdot U[i+NN+1+NPP2]+K[i,50] \cdot U[i+NP+NPP2]+ \\
 &+K[i,51] \cdot U[i+NN+NP+NPP2]+K[i,52] \cdot U[i+NP+1+NPP2]+ \\
 &+K[i,53] \cdot U[i+NN+NP+1+NPP2]+K[i,54] \cdot U[i+NP-1+NPP2]+ \\
 &+K[i,55] \cdot U[i+NN-1+NPP2]+K[i,56] \cdot U[i-NN+1+NPP2]+ \\
 &+K[i,57] \cdot U[i-NP+1+NPP2].
 \end{aligned} \tag{9}$$

Уравнение для следующих составляющих сил по осям У и Z отличаются от предыдущих лишь тем, что в индексы составляющих сил и элементов глобальной матрицы жесткости системы на место i пишется соответственно $i+NPP$ и $i+NPP2$.

Например, $F[i+NPP]=$

$$\begin{aligned}
 &=K[i+NPP,1] \cdot U[i-NN-NP-1]+K[i+NPP,2] \cdot U[i-NP-1]+... \\
 &+K[i+NPP,57] \cdot U[i-NP+1+NPP2] \text{ и } F[i+NPP2]= \\
 &=K[i+NPP2,1] \cdot U[i-NN-NP-1]+ K[i+NPP2,2] \cdot U[i-NP-1]+... \\
 &+K[i+NPP2,57] \cdot U[i-NP+1+NPP2].
 \end{aligned}$$

Установленный при записи уравнений (9) порядок нумерации коэффициентов определяет форму записи глобальной матрицы жесткости и правило нумерации ее элементов. Глобальная матрица жесткости системы содержат $NPP3$ строк по 45 элементов в строке и имеет вид:

$$[K] = \begin{bmatrix} K[1,1], K[1,2], K[1,3], \dots, K[1,45] \\ K[2,1], K[2,2], K[2,3], \dots, K[2,45] \\ \dots \\ K[NPP2,1], K[NPP2,2], K[NPP2,3], \dots, K[NPP2,45] \end{bmatrix}. \tag{10}$$

Теперь рассмотрим некоторый конечный элемент-тетраэдр, имеющий вершины i , j , k и l с индексом $N=0$ и $C=0$. Предложим, что для этого элемента определена матрица жесткости $[k]$. Ниже приводится выражение, из которого ясна закономерность нумераций элементов этой матрицы, т.е. матрицы $[k]$.

$$\begin{Bmatrix} F[i] \\ F[j] \\ F[k] \\ F[l] \\ F[i + NPP] \\ F[j + NPP] \\ F[k + NPP] \\ F[l + NPP] \\ F[i + NPP2] \\ F[j + NPP2] \\ F[k + NPP2] \\ F[l + NPP2] \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k[1,1], & k[1,2], & \dots, & k[1,12] \\ k[2,1], & k[2,2], & \dots, & k[2,12] \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k[12,1], & k[12,2], & \dots, & k[12,12] \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} U[i] \\ U[j] \\ U[k] \\ U[l] \\ U[i + NPP] \\ U[j + NPP] \\ U[k + NPP] \\ U[l + NPP] \\ U[i + NPP2] \\ U[j + NPP2] \\ U[k + NPP2] \\ U[l + NPP2] \end{Bmatrix}. \quad (11)$$

Здесь – вектор – компонент сил, действующих в вершинах i , j , k и l элемента-тетраэдра.

Первые четыре строки матрицы жесткости элемента $[k]$ содержат коэффициенты, связывающие горизонтальные компоненты узловых сил со всеми составляющими перемещений вершин элемента-тетраэдра, следующие четыре строки – вертикальные составляющие узловых сил со всеми составляющими узловых перемещений, а последние четыре строки – компоненты узловых по оси z со всеми составляющими перемещений узлов.

Установим правила переадресации членов матрица $[k]$ в ячейки глобальной матрицы жесткости $[k]$.

Член матрицы жесткости тетраэдра $k[1,1]$, как следует из выражения (11), связывает значение горизонтальной компоненты $F[i]$ силы по оси X , действующей в узле i , с горизонтальным перемещением $u[i]$ по оси X . В соответствии с записью (9) этот член должен суммироваться с элементом $K[i,8]$ глобальной матрицы жесткости системы. Член $k[1,2]$ связывает ту же компоненту силы (так как находится тоже в первой строке матрицы $[k]$) с компонентом перемещения по оси X узла, имеющего номера J . Как следует из рисунка 2, номер J для тетраэдров с индексами $N=0$ и $C=0$ равен $i+NN+1$ (горизонтальная по оси X компонента перемещения этого узла $-U[i+NN+1]$). Из анализа выражения (9) легко устанавливается, что элемент $k[1,2]$ суммируется с членом $k[i,11]$ матрицы $[k]$. Рассуждая аналогично, можно получить взаимосвязь в нумерации элементов $[k]$ и членов глобальной матрицы жесткости системы $[k]$.

Вышеприведенные зависимости для адресации элементов МЖЭ $[k]$ в МЖС $[k]$ можно написать при помощи вспомогательного числового массива KU .

Часовой массив $KU[6,48]$

H=0 C=0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
8	11	9	13	27	30	28	32	46	49	47	51	5	8	6	16

17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
24	27	25	35	43	46	44	54	7	10	8	12	26	29	27	31

33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
45	48	46	50	3	19	4	8	22	38	23	27	41	57	42	46

H=0 C=1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
8	11	15	10	27	30	34	29	46	49	53	48	5	8	12	7

17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
24	27	31	26	43	46	50	45	1	4	8	3	20	2	27	22

33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
39	42	46	41	6	9	13	8	25	28	32	27	44	47	51	46

H=0 C=2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
3	11	13	15	27	30	32	34	46	49	51	53	5	8	16	12

17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
24	27	35	31	43	46	54	50	3	19	8	10	22	38	27	29

33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
41	57	46	48	1	4	6	8	20	23	25	27	39	42	44	46

H=1 C=0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
8	14	10	15	27	33	29	34	46	52	48	53	2	8	4	9

17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
21	27	23	28	40	46	42	47	6	12	8	13	25	31	27	32

33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
44	50	46	51	1	7	3	8	20	26	22	27	39	45	41	46

H=1 C=1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
8	14	13	12	27	33	32	31	46	52	51	50	2	8	17	6

17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
21	27	36	25	40	46	55	44	3	18	8	7	22	37	27	26

33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
41	56	46	45	4	10	9	8	23	29	28	27	42	48	47	46

H=1 C=2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
8	14	15	13	27	33	34	32	46	52	53	51	2	8	9	17

17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
21	27	28	36	40	46	47	55	1	7	8	6	20	26	27	25

33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
39	45	46	44	3	18	10	8	22	37	29	27	41	56	48	46

Вышеизложенная методика позволяет определять напряженно-деформированное состояние конструкций дорожных одежд под воздействием транспортных средств методом конечных элементов.

Результаты и обсуждение

В результате проведенного исследования был разработан метод, позволяющий эффективно определять напряженно-деформированное состояние конструкций дорожных одежд с использованием метода конечных элементов (МКЭ). Применяя описанный подход, мы получили значимые результаты, касающиеся формирования глобальной матрицы жесткости и учета узловых нагрузок.

Анализ полученных результатов построения матрицы жесткости: мы применили регулярную дискретизацию расчетной области, что оказало положительное влияние на точность моделирования. Это позволило снизить вычислительные затраты и упростить процесс составления глобальной матрицы жесткости [К]. Результаты подтверждают, что

использование аналитических зависимостей при нумерации узлов в «i-объединениях» улучшает структурную согласованность и ускоряет сборку/разборку матрицы.

Учет сил тяжести: результаты показали, что адекватное распределение весов элементов конструкции на узлы значительно увеличивает точность моделирования ответных реакций структур на нагрузки. Это также позволяет более точно оценить влияние различных материалов на прочностные характеристики конструкций дорожных одежд.

Экспериментальные проверки методики: в процессе исследования были проведены численные эксперименты с использованием различных конфигураций дорожных конструкций под влиянием транспортных нагрузок. Результаты расчетов, выполненных по предложенному методу, совпали с данными, полученными из экспериментальных исследований. Это подтверждает высокую надежность данного метода для анализа сложных систем.

Метод конечных элементов, описанный в данной работе, предоставляет расширенные возможности для изучения нагрузочно-деформированного состояния конструкций. В частности, регулярная разбивка расчетной области и простая система нумерации узлов углубляет понимание взаимосвязей и взаимодействий между элементами при нагрузках.

Также следует отметить, что применение данного метода можно адаптировать для различных типов конструкций, что делает его универсальным инструментом в инженерной практике. Однако важно помнить, что высокое качество расчетов во многом зависит от выбора элементов, их качества и правильного описания физико-механических свойств материалов.

Заключение

В ходе исследования представленный метод показал свою эффективность в моделировании напряженно-деформированного состояния конструкций дорожных одежд. Основные результаты, полученные в ходе работы, наглядно демонстрируют влияние регулярной дискретизации и правильного учета узловых нагрузок на точность анализа. Успех данной методики открывает новые горизонты для дальнейших исследований в области проектирования и оптимизации конструкций, что, в свою очередь, ведет к повышению безопасности и долговечности дорожных объектов.

Приведенная методика демонстрирует эффективное использование регулярной дискретизации расчетной области, что позволяет упростить построение и анализ глобальной матрицы жесткости. Применение метода МКЭ с учетом влияния внешних нагрузок и сил тяжести через распределение нагрузок по узлам обеспечивает высокую точность в моделировании деформаций и напряжений в строительных элементах. Также была рассмотрена структура матрицы жесткости для конечных элементов и их взаимодействие при формировании глобальной матрицы, что позволяет более точно анализировать поведение конструкций под воздействием внешних факторов, таких, как транспортные нагрузки. Применение представленных методов в расчетах дорожных

покрытий и других строительных сооружений способствует повышению надежности и точности проектных решений в области инженерных расчетов. Данный метод успешно применяется в задачах анализа конструкций дорожных одежд, где важна точная оценка напряженно-деформированного состояния в условиях различных эксплуатационных нагрузок.

Вклад авторов:

А.Е. Тойлыбаев: разработал общую концепцию исследования, сформулировал задачи анализа напряженно-деформированного состояния конструкций, а также руководил процессом написания статьи.

С.Р. Турсынбекова: провела теоретический анализ метода конечных элементов, участвовала в разработке алгоритмов формирования глобальной матрицы жесткости и проверке их корректности.

А.С. Айтхожина: отвечала за программную реализацию предложенных методик, а также выполнила численные эксперименты и проанализировала их результаты.

О. Абдрашев: участвовал в разработке методики учета граничных условий и оптимизации вычислительных процедур, внес вклад в интерпретацию результатов исследования.

У.А. Усипбаев, Т. Мутап: занимался подготовкой иллюстративных примеров и тестированием предложенных методов на практике, а также участвовал в редактировании статьи.

Список литературы

1. Зенкевич, О.К., Тейлор, Р.Л. (2005). Метод конечных элементов: Том 1: Базис. Эльзевир.
2. Бате, К.Д. (1996). Конечно-элементные процедуры. Прентис Холл.
3. Кук, Р.Д., Малкус, Д.С., и Плеша, М.Е. (2002). Понятия и приложения метода конечных элементов. Вайли.
4. Тимошенко, С., Гудье, Ж.Н. (1970). Теория упругости. Макгроу-Хилл.
5. Хьюз, Т.Д.Р. (2000). Метод конечных элементов: линейный статический и динамический анализ методом конечных элементов. Прентис Холл.
6. Сабо, Б., Бабушка, И. (1991). Анализ методом конечных элементов. Джон Уайли и сыновья.
7. Редди, Д.Н. (2006). Введение в метод конечных элементов. Макгроу-Хилл.
8. Стрэнг, Г., Фикс, Г.Д. (2007). Анализ метода конечных элементов. Уэллсли-Кембридж Пресс.
9. Акин, Э., Селига, Д. (2008). Вычислительный анализ нелинейных структурных задач и задач течения жидкости. Пресс CRC.
10. Абакус. (2020). Документация Abaqus 2020. Dassault Systèmes.

А.Е. Тойлыбаев^{*1}, С.Р. Турсынбекова², А.С.Айтхожина², Ө.Әбдірашев², У.А.Усипбаев³, Т.Муташ²

¹*М.Тынышпаева атындағы АЛТ университеті, Алматы қ.*

²*ҚеАҚ «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті», Астана қ.*

³*ЗМ.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент.*

Соңғы элементтер әдісін пайдалана отырып, конструкциялардың кернеулі-деформацияланған жай-күйінің міндеттерін шешу үшін қаттылықтың жаһандық матрицасын құру әдістемесі

Аңдатпа. Мақалада соңғы элементтердің қаттылық матрицалары негізінде жүйелердің қаттылық матрицасын құру әдістері қарастырылады. Есептік саланы тұрақты дискреттеудің тиімді тәсілдерінің бірі сипатталады, бұл ауырлық күшін қоса алғанда, сыртқы жүктемелерді неғұрлым дәл ескеруге мүмкіндік береді. Кеңістіктік модельдеу контекстінде тораптық жүктемелер мен олардың өзара байланыстарын есептеу үшін формулалар келтірілген. Сондай-ақ түйіндерді нөмірлеу және жаһандық қаттылық матрицасының элементтерін адрестеу ерекшеліктері талқыланады, бұл конструкциялардың кернеу-деформацияланған жай-күйін талдау үшін барабар модельді қамтамасыз етеді. Ұсынылған әдісті қолдану жол төсемдері конструкцияларының көлік құралдарынан түсетін жүктемелерге реакциясын тиімді анықтауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: соңғы элементтер әдісі, қаттылық матрицасы, кернеу-деформацияланған жай-күй, көлік жүктемелері, тұрақты дискретизация, тораптық жүктемелер, жаһандық қаттылық матрицасы, жол төсемдерінің конструкциясы.

A.E. Toilybaev^{*1}, S.R. Tursynbekova², A.S. Aitkhozhina², O. Abdrashev², U.Usipbaev³, T.Mutash²

¹*ALT university named after M. Tynyshpayeva, Almaty*

²*«L.N. Gumilyov Eurasian National University», Astana*

³*South Kazakhstan University named after M. Auezov, Shymkent*

Methodology for constructing a global stiffness matrix for solving stress-strain problems of structures using the finite element method

Abstract: The article discusses methods for constructing a stiffness matrix of systems based on finite element stiffness matrices. One of the effective ways to regularly sample the calculated area is described, which allows you to more accurately take into account external loads, including gravity. Formulas are provided for calculating nodal loads and their relationships in the context of spatial modeling. The features of node numbering and addressing of global stiffness matrix elements are also discussed, which provides an adequate model for analyzing the stress-strain state of structures. Application of proposed method makes it possible to effectively determine reactions of road pavement structures to loads from vehicles.

Keywords: finite element method, stiffness matrix, stress-strain state, transpor

References

1. Zienkiewicz, O.C., & Taylor, R.L. (2005). The Finite Element Method: Volume 1: The Basis. Elsevier.
2. Bathe, K.J. (1996). Finite Element Procedures. Prentice Hall.
3. Cook, R.D., Malkus, D.S., & Plesha, M.E. (2002). Concepts and Applications of Finite Element Analysis. Wiley.
4. Timoshenko, S., & Goodier, J.N. (1970). Theory of Elasticity. McGraw-Hill.
5. Hughes, T.J.R. (2000). The Finite Element Method: Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis. Prentice Hall.
6. Szabó, B., & Babuška, I. (1991). Finite Element Analysis. John Wiley & Sons.
7. Reddy, J.N. (2006). An Introduction to the Finite Element Method. McGraw-Hill.
8. Strang, G., & Fix, G.J. (2007). An Analysis of the Finite Element Method. Wellesley-Cambridge Press.
9. Akin, E., & Szeliga, D. (2008). Computational Analysis of Nonlinear Structural and Fluid Flow Problems. CRC Press.
10. Abaqus. (2020). Abaqus 2020 Documentation. Dassault Systèmes.

Сведения об авторах:

А.Е. Тойлыбаев – автор корреспонденции, кандидат технических наук, ассоциированный профессор, АЛТ университет им. М.Тынышпаева, Алматы, Казахстан.

С.Р. Турсынбекова – преподаватель, магистр технических наук, Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, 010000, Астана, Казахстан.

Ө.Әбдірашев – PhD, и.о., доцента кафедры «Космическая техника и технологии», Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, 010000, Астана, Казахстан.

А.С.Айтхожина – старший преподаватель, магистр технических наук, Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, 010000, Астана, Казахстан.

У.А.Усипбаев – кандидат технических наук, ЮКУ имени М. Ауезова, Шымкент.

Т. Мутап – магистрант 2 курса, Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, 010000, Астана, Казахстан.

А.Е. Тойлыбаев – хат-хабар авторы, техника ғылымдарының кандидаты, АЛТ университетінің доценті. М. Тынышпаева, Алматы қ. Қазақстан

С.Р. Турсынбекова – оқытушы, техника ғылымдарының магистрі, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті., 010000, Астана, Қазақстан

Ө.Әбдірашев – «Ғарыштық техника және технологиялар» кафедрасының доцент м.а., PhD, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

А.С. Айтхожина – магистр, аға оқытушы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

У.А. Усипбаев – техника ғылымдарының кандидаты, «М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті» КЕАҚ, Шымкент

Т. Мутап – 2 курс магистранты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

A.E. Toilybaev – is a correspondence writer, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at ALT University named after M.Tynyshpaeva, Almaty Kazakhstan

S.R. Tursynbekova – Lecturer, Master of Technical Sciences, L.N.Gumilyov Eurasian National University, 010000, Astana, Kazakhstan

O.Abdirashev – PhD, Acting, Associate Professor of the Department of Space Engineering and Technology, L.N.Gumilyov Eurasian National University

A.S.Aitkhozhina – Senior Lecturer, Master of Technical Sciences, L.N.Gumilyov Eurasian National University, 010000, Astana, Kazakhstan

U.A.Usyrbayev – Candidate of Technical Sciences, South Kazakhstan University named after M. Aueyev, Shymkent

T.Mutash – 2 year master student, L.N.Gumilyov Eurasian National University, 010000, Astana, Kazakhstan



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



XҒТАР: 30.19.29

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-149-4-282-292>

Ғылыми мақала

Импульстік тамшылау жүктемелер кезіндегі эрозиялық зақымданулар

К.К. Сейтказенова^{ID}, Д.С. Мырзалиев*^{1 ID}, О.Б. Сейдуллаева^{ID}, А.А. Аманжол^{ID},
А.Б. Усеров^{ID}

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

(E-mail: *orynkul_s@mail.ru)

Аңдатпа. Мақалада импульстік тамшы жүктемесіндегі материалдың әрекеті қарастырылады. Тамшының тосқауыл бетімен әрекеттесу процесі сипатталған. Қирауға қабілетті кернеулі учаскелер анықталды. Байланыс бетіне әсер ететін гидравликалық қысым көрсетілген. Сұйық бөлшектің материалмен соқтығысуы кезінде болатын процестер кезең-кезеңімен сипатталады. Бірінші кезеңде материалда және сұйықтық бөлшегінде кернеулер мен деформациялар толқындары пайда болады. Әрі қарай, сұйықтық тамшылары кедергіге енгізіледі және оларды енгізу тереңдігі сыртқы әсер ету қуатының оның қирауына сәйкес келетін материалдың деформация қуатына қатынасына байланысты.

Үшінші кезеңде материалда соққы толқындарының әлсіреуі және кратердің инерциялық кеңеюі жүреді.

Соққы жүктемесі жағдайында, ығысу кернеуі аққыштық критерийінен үлкен болған кезде, материалда пластикалық толқын пайда болады, оның жылдамдығы тұрақты емес және материалдың микро көлемдерінің деформациялық беріктендіру ерекшеліктеріне байланысты. Берілген пластикалық толқынның жылдамдығының өзгеруі әсер етудің критикалық жылдамдығын ескереді соққы $Q_{кр}$ материалдың қирауына дейін деформациялануына жауап беретін интегралды сипаттама.

Динамикалық сипаттама ұсынылады, мысалы, деформация қуатының тығыздығының критикалық мәні немесе сыртқы әсер ету кезіндегі материалдардың энергия сыйымдылығын және олардың деформация жылдамдығына реакциясын сипаттайтын деформация энергиясының тығыздығының қауіпті (критикалық) мәні.

Түйін сөздер: тамшылатып жүктеу, импульстік жүктеме, эрозияға төзімділік, соққының қауіпті жылдамдығы, гидравликалық қысым, деформация қуатының тығыздығы

Түсті 17.10.2024. Жөнделді 19.10.2024. Мақұлданды 03.12.2024. Онлайн қолжетімді 31.12.2024

¹*хат-хабар үшін автор

Кіріспе

Бу турбинысы бөліктерінің беріктігін бағалау және гидродинамикалық және діріл кавитациясындағы бөлшектердің эрозияға төзімділігін болжау үшін импульстік тамшы жүктемелеріндегі материалдардың әрекетін білу және талдау маңызды. Сыртқы әсер ету кезінде тозған материал кернеу толқындарының деформациясы мен өтуін сезінеді. Бөлшектің бетіне тамшылар мен сұйықтықтың кумулятивті ағындарының әсері бірдей заңдылықтарға ие деп санауға болады.

Импульстік жүктеме кезінде пайда болатын өте күрделі процестер кернеулердің материалдардың эрозиялық зақымдалуымен нақты байланысын орнатуға мүмкіндік бермейді. Сұйықтықтың қатты бетпен әрекеттесуін модельдеу оңай емес. Сондықтан зерттеулерде сұйықтықтың қатты бетпен әрекеттесуінің жеңілдетілген модельдері басым болады және бір өлшемді кернеу толқынын тудыратын цилиндрлік тамшының әсерін қарастырады.

Соққы толқынының өтуіндегі ортаның параметрлері массаның, қозғалыс мөлшерінің және энергияның сақталу заңдарына негізделген Рэнкин-Гюгонио қатынастарымен анықталады.

Әдіснама

Стационарлық координаттар жүйесіндегі материал мен сұйықтық үшін бір өлшемді қысу толқындарының қозғалысы кезіндегі қысымның өзгеруі келесі өрнектермен анықталады:

$$\Delta p = \rho_m u_m \vartheta_m \approx \rho_m c_m \vartheta_m; \quad (1)$$

$$\Delta p = \rho_0 u_c \cdot (\vartheta_{y0} - \vartheta_{жс}) \approx \rho_0 c_0 \cdot (\vartheta_{y0} - \vartheta_{жс}) \quad (2)$$

мұндағы u_m және u_c – сәйкесінше қатты материал мен сұйықтықтағы кернеу толқындарының жылдамдығы;

ρ_m және ρ_0 – сәйкесінше қатты материал мен сұйықтықтың тығыздығы;

c_m және c_0 – сәйкесінше қатты материал мен сұйықтықтағы дыбыс жылдамдығы;

ϑ_m және ϑ_0 – сәйкесінше қатты материал мен сұйықтық бөлшектерінің жылдамдығы;

$\vartheta_{мен}$ – сұйықтықтың меншікті жылдамдығы.

(1) және (2) тәуелділіктерді қолдана отырып, қысымды графикалық түрде анықтауға болады Δp_m және қатты материал бөлшектерінің жылдамдығы ϑ_m (тосқауылдың қозғалу жылдамдығы) сұйықтық пен тосқауыл шекарасында. Тосқауылдың қатты бетіне сыртқы қысым және оның қозғалу жылдамдығы тәуелділік графигіндегі (1) және (2) теңдеулермен сипатталған қисықтардың қиылысу $\Delta p = f(\vartheta)$ нүктесіне сәйкес келеді.

Сұйықтық пен қатты бөлшектердің олардың шекарасындағы қысымдары мен орын ауыстыруы тең болған жағдайда және (1) және (2) теңдеулердің сызықтық жуықтауы

кезінде жанасу бетіне әсер ететін гидравликалық қысым қалыпты қатты бетке дейінгі бұрышқа және тамшының әсер ету жылдамдығының бағытына байланысты болады.

ρ қысымын түзету коэффициенттеріне көбейту арқылы [1], уақыт аралығында тамшының материалдың бетімен жанасу нүктесіне әсер ететін орташа p_{op} қысымының шамасын бағалаңыз $t_{мен}$.

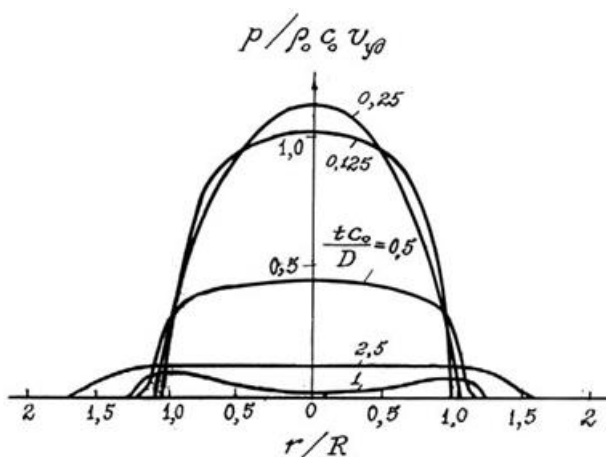
Зерттеуге сәйкес [1] p_{op} қысымы $t_{мен}$ уақыт кезеңінде өзгермейді

$$t_{мен} \approx 1,5 R_m \vartheta_{мен} / c_0^2 \quad (3)$$

мұндағы R_m – тамшы радиусы; $\vartheta / (c_0^2)$ – тамшының серпімді деформациясы.

Нәтижелерді мен талқылау

$t_{мен}$ кезінде өзгеру сипаты h_t биіктіктегі цилиндр тәрізді тамшының әсер ету аймағындағы салыстырмалы қысымның таралуы, жұмыста аналитикалық түрде орнатылған бөліктің қатты бетінде [2] 1-суретте көрсетілген.



1-сурет. Материалдың қатты бетіне гидросоққысы кезіндегі қысымның өзгеру кинетикасы

Есептеулерде көлемдік күштердің әсері, тұтқырлық және беттік керілу ескерілмеді, тек қысым, инерция күштері және сұйықтықтың сығылуы ескерілді. Нысана қатты деп саналды және соққы жылдамдығы 305-тен 610 м/с-қа дейін өзгерді.

Талдау көрсеткендей, 0,125 және 0,250-ге тең уақыттың бастапқы нүктелеріндегі салыстырмалы қысым диаграммалары жартылай эллипс тәрізді және жоғары кинематикалық жұптардың жанасу кезіндегі қысым диаграммаларына ұқсас. 0,5, 1,0 және 2,5 тең уақыт сәттерінде; қысым тиісінше 2,5, 10 және 12,5 есе төмендейді. Тамшының бетімен өзара әрекеттесуінің соңғы кезеңдерінде тамшының таралуына байланысты сұйықтық қысымын сезінетін жанасу аймағының шамамен үш есе артуы байқалады. Тамшының таралу жылдамдығы соққы жылдамдығынан 2-3 есе көп болуы мүмкін

екенін ескеру маңызды. Сондықтан ағып жатқан сұйықтықтың жоғары жылдамдықты ағындары айтарлықтай беттік қираударды тудыруы мүмкін [3].

1-суретке сәйкес, байланыс аймағының орталық бөлігіндегі материалдың жұқа сыртқы қабаттары және 0,8-1,0 салыстырмалы r/R радиустарында орналасқан сақина алаңының астында ең кернеулі учаскелер болып табылады. Қалыпты байланыс осі бойымен сыни тереңдікте орналасқан материалдың белгілі бір көлемі де бұзылуы мүмкін. Сонымен, зерттеуде [4] плексигласс су тамшысын дыбысқа жақын жылдамдықпен соқтығысқанда, сыни тереңдіктегі сынғыш сыну байланыс аймағының шетіндегі сақина белдеуіндегі материалдың қирауымен бір мезгілде пайда болды.

Осындай қирау сипаты полиметилметакрилат (ПМК) бетіне $100 \div 300$ м/с жылдамдықпен галлий – индий – қалайы қорытпасының тамшыларының соққыларында байқалды [5]. Соқтығысу жылдамдығы $160 \div 180$ м/с болғанда, ПМК мен 2Х13 болаттың бетіндегі кратерлер сақиналы ойық болды. Соқтығысу жылдамдығының 250-260 м/с дейін жоғарылауымен 2Х13 болаттың бетіндегі кратерлер жалпақ табақша пішініне ие болды, ал ПМК үлгілері мұндай жылдамдықта ойықтың орнына жарықтар пайда болған сақина аймағында сынғыш түрде жойылды.

Барлық ықтималдықтар бойынша, материалдардың бетіндегі сақина аймағындағы жарықтар жанасу нүктесінің шеттерінде ең үлкен мәнге ие радиалды созылу кернеулерінің әсерінен пайда болады. Бөлшектің материалмен соқтығысуы кезінде келесі процестер жүреді:

Бірінші кезеңде материалда және сұйықтық бөлшегінде кернеулер мен деформациялар толқындары пайда болады. Екінші кезеңде сұйықтық тамшысын тосқауылға сыртқы әсер ету қуатының беттік тығыздығының материалдың деформация тығыздығының белгілі бір қауіпті мәніне қатынасымен анықталатын тереңдікке енгізу жүреді, бұл соңғысының қирауына сәйкес келеді. Үшінші кезеңде материалда соққы толқындарының әлсіреуі және кратердің инерциялық кеңеюі жүреді.

Тәжірибелерде металдар мен металл емес материалдардың кратерлерінің бетінде $0,008 \div 0,045$ шектерінде биіктік пен толқын қадамының арақатынасы бар перифериялық концентрлі толқындар түрінде бағытталған кедір-бұдырдың пайда болуы ПМК үшін [5] ағып жатқан сұйықтықтың әсерінен ең жұқа беткі қабат ағынының тұрақтылығын жоғалтумен байланысты. Уақыт кезінде қысымның кейбір жоғарылауы $t_{\text{сал}}=1,0$ бар сақина алаңында $r/R=0,8 \div 1,15$ (1-сурет) жоғары әсер ету жылдамдығында кратердің сақиналы ойық түрінде пайда болуына, сондай-ақ жарықтардың сынуына ықпал етуі мүмкін. Кратердің соңғы өлшемдері сұйықтық тамшысымен соқтығысу аймағында материалды серпімді қалпына келтіргеннен кейін соңғы кезеңде қалыптасады.

Тегіс тосқауылмен сфералық пішінді сұйықтық тамшысының соқтығысуының ерекшелігі контакт алаңын орталықтан периферияға радиалды бағытта уақыт бойынша дәйекті түрде жүктеу болып табылады [2].

ПМК бетіндегі сақиналы жарықшақтың пайда болуы трохонд тәрізді профилі бар және материалдың беті бойымен жұқа сыртқы қабатта ығысу толқындарының жылдамдығына жақын жылдамдықпен таралатын Релейдің жазық серпімді толқынынан созылу кернеулерінің әсерімен байланысты деген пікір бар [5].

Айта кету керек, тамшылатып жүктеме кезінде материалдардың беткі зақымдану дәрежесі тамшы радиусының, сұйықтықтың акустикалық кедергісінің, пайда болатын қысым мен жүктеме ұзақтығының функциясы болып табылатын пластикалық деформация жылдамдығының жоғарылауымен артады.

Сұйық тамшылардың қатты бетпен әсерлесу ерекшеліктерін талдау материалдардың эрозиялық зақымдану дәрежесін бағалау кезінде $E_{\text{тол}}$ соққы толқындарының энергиясын ғана емес, сонымен қатар E_T тамшысының кинетикалық энергиясын материалдың бетіне енгізген кезде және E_a сұйықтығының ағып жатқан ағындарының энергиясын ескерген жөн екенін көрсетеді. Бұл жағдайда $E_{\text{ст}}$ материалының бетіне сыртқы әсер ету энергиясын сома түрінде ұсынуға болады

$$E_{\text{ст}} = E_{\text{тол}} + E_T + E_a \quad (4)$$

Егер тамшының соққысы материалдың пластикалық деформациясын тудырса, онда идеалды икемділік жағдайлары үшін

$$a_{\text{мен}} V_k = m \mathcal{G}_{\text{ен}} C_0 + 0,5 m \cdot (\mathcal{G}_{\text{ен}}^2 + \mathcal{G}_m^2) \quad (5)$$

мұндағы $a_{\text{мен}}$ – пластикалық деформацияның меншікті жұмысы;

V_k – массасы m болатын сұйықтық тамшысымен соқтығысқан кезде материалдың бетіндегі кратер немесе шұқыршақтың көлемі;

$\mathcal{G}_{\text{вн}}$ – тосқауылға сұйықтық тамшысын енгізу жылдамдығы;

\mathcal{G}_p – тамшының таралу жылдамдығы.

$$E_{\text{вн}} = E_{\text{в}} + E_k + E_c. \quad (4)$$

Диаметрі 1 мм Ga-In-Sn қорытпасының тамшылары 2X13 болат үлгілерінің бетімен тікелей соқтығысқанда, пайда болған шұқыршақтың тереңдігі 2,5-3,0 мкм-ге жетті [5]. Сондықтан, тамшының диаметрі D_T болған кезде соққы жағдайлары үшін шұқыршақтың тереңдігінен $h_{\text{ш}}$ едәуір үлкен, қатынас $a^2 = D_T \cdot h_{\text{ш}}$ (a -тесіктің ең үлкен радиусы).

Егер E_a энергиясы (4) E_k кинетикалық энергиясына пропорционалды деп есептесек, онда (5) өрнек жүктеме ұзақтығын ескере отырып, келесі түрді бере алады,

$$a_{\text{мен}} 2\pi R_m h_{\text{ш}}^2 \approx \rho_0 C_0 V_m \mathcal{G}_{\text{ст}} / t_{\text{мен}} + k \rho_0 V_m \mathcal{G}_{\text{ст}}^2 / t_{\text{мен}}^* = N_{\text{тол}} + k N_m \quad (6)$$

мұндағы: $a_{\text{мен}}$ – пластикалық деформацияның меншікті қуаты;

V_m – тамшы көлемі;

$t_{\text{мен}}$ – (3) формула бойынша анықталған уақыт кезеңі;

$t_{\text{мен}}^*$ – бөгет бетіне тамшыны енгізу және тарату ұзақтығы;

$N_{\text{тол}}^*$ – уақыт кезеңдеріне сәйкес келетін соққы күштері $t_{\text{мен}}^*$ және $t_{\text{уд}}^*$;

k – су үшін 2-ге тең пропорционалдылық коэффициенті [6].

(6) өрнегіне сәйкес жанасудың толық ұзақтығы кезінде материалдың бетіндегі тесіктің тереңдігі,

$$h_{ш} \approx (N_{мол.} + kN_m / 2\pi R_m \alpha_{мен})^{1/2} \quad (7)$$

Алынған шамамен арақатынас эксперименталды түрде расталады. Атап айтқанда, су тамшыларымен және ПМК нысанасының Ga-In-Sn қорытпасының тамшыларымен бомбалау кезінде (7) формуламен болжанған $h_{ш}$ және R_k арасындағы сызықтық байланыс байқалды.

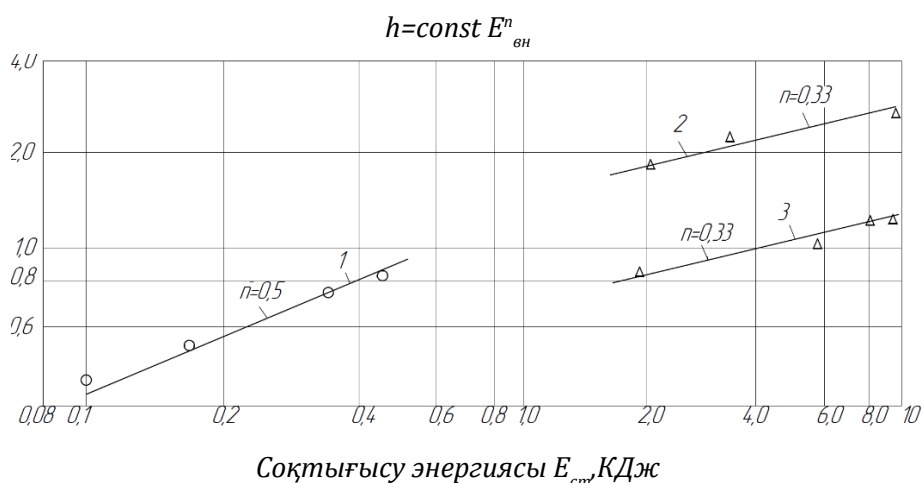
(7) өрнегінің негізінде материалдың бетіндегі шұқыршақтар үшін қарапайым формуланы жазуға болады

$$h_{ш} \approx (kE_{ст} / 2\pi R_m \alpha_{мен})^{1/2} \quad (8)$$

мұндағы: $E_{ст}$ – кратер аймағында материалдың пластикалық деформациясына жұмсалатын энергияны қамтитын соққы энергиясы;

k – материалдың серпімді деформацияларына әсер ету энергиясының шығынын ескеретін коэффициент.

(8) формула бойынша құрастырылған $h_{ш}$ -дің $E_{ст}$ -ге тәуелділігін алюминий нысанасына (2-суреттегі 1 және 2 қисықтар) және жұмсақ болатқа (2-суреттегі 3 қисық) металл соққышты енгізу кезінде тәжірибелік мәліметтермен салыстыру [7] есептелген және тәжірибелік нәтижелер арасында қанағаттанарлық корреляцияның бар екендігін көрсетеді. 2-қисық үшін (8) формуладағы коэффициент бірлікке жақын болды, ал 3 – қисық үшін 0,92 болды, яғни алюминий мен болаттың серпімді деформацияларына әсер ету энергиясының шығындары сәйкесінше 0 және 8% құрады.



2-сурет. Кратер тереңдігінің алюминий (1 және 2) және жұмсақ болат (3) нысандары бар диск соққыштың соқтығысу энергиясына тәуелділігі

Материал ауысу күшінен едәуір асатын кернеулердегі соққы толқыны майданының артындағы материалдың кернеу күйі жан-жақты қысылуға жақындайды, сондықтан соққы жүктемесіндегі қатты денелердің пластикалық ағынын сипаттағанда гидродинамика әдістері жиі қолданылады.

Гидродинамикалық деформация пайда болатын материал бөлшектерінің шекті жылдамдығы қатынаспен анықталады

$$\mathcal{G}_m^* = c_m \tau_{max} / G \quad (9)$$

мұндағы τ_{max} – соққыдан кейін бірден пайда болатын ең үлкен ығысу кернеуі, оны сәйкесінше σ_r және σ_θ – қысу және ығысу кернеулер арқылы көрсетуге болады;

G – ығысу модулі;

Жұмыста бөлшектің бетімен тамшы соқтығысқан кезде кратердің тереңдігін бағалау үшін Бернулли [5] теңдеуі қолданылды.

Жүктеуге ұшыраған материал аймағының кеңеюіне және энергияның диссипациясына байланысты кернеу толқынының қарқындылығы төмендеген сайын, материалдың ығысу деформацияларына төзімділігінің соққы толқындарының таралу және әлсіреу заңдылықтарына әсері артады. Сондықтан, тамшылатып жүктеме кезінде материалдардың іс әрекетін неғұрлым сенімді сипаттау үшін серпімді-пластикалық күйге сәйкес келетін қысым саласындағы материалдардың соққы адиабатының барысына шағын пластикалық деформацияның әсері туралы ақпарат болуы керек.

Соққы жүктемесі жағдайында, ығысу кернеулері кірістілік критерийімен анықталған кернеулерден асып кетсе, соққы толқынының тұрақтылығы бұзылады және материалда пластикалық толқын пайда болады, оның жылдамдығы тұрақты емес және материалдың микро көлемдерінің деформациялық қатаю ерекшеліктеріне байланысты. Өз кезегінде, материалдың қирауына дейін бір немесе бірнеше рет деформациялануы кезінде пластикалық толқын жылдамдығының өзгеруін ескеретін интегралды сипаттама \mathcal{G}_k – бұл қауіпті соққы жылдамдығы. Сондықтан бөлшектердің эрозияға төзімділігін бағалау кезінде тозған материалдардың жаңа динамикалық сипаттамаларын қолдану қажет, мысалы, деформация қуатының критикалық тығыздығы немесе деформация энергиясының қауіпті ағынының тығыздығы, бұл тек соққы жүктемесіндегі материалдардың энергия сыйымдылығын ғана емес, сонымен қатар олардың деформация жылдамдығына сезімталдығын да ескереді [8-10].

Энергетикалық қатынас (8) материалдың бетіндегі қысымды анықтау үшін өрнек алуға мүмкіндік береді

$$p = \rho_0 c_0 (\mathcal{G}_{мен} - \mathcal{G}_m) \cdot [1 + k \cdot (\mathcal{G}_{мен} - \mathcal{G}_m / c_0)] \quad (10)$$

Қорытынды

Импульстік тамшылатып жүктемелер кезінде тозған материал кернеу толқындарының деформациясы мен өтуін сезінеді. Тамшының бетімен әрекеттесуі кезінде тамшының

таралуына байланысты, сұйықтық қысымын сезінетін жанасу аймағының шамамен үш есе артуы байқалады, ал тамшының таралу жылдамдығы әсер ету жылдамдығынан 2-3 есе көп болуы мүмкін, бұл айтарлықтай беттік қирауларды тудырады.

Тосқауыл сұйықтық тамшысын енгізу тереңдігі сыртқы әсер ету қуатының беттік тығыздығының материалдың деформация қуатының көлемдік тығыздығының белгілі бір қауіпті мәніне қатынасы арқылы анықталады, соңғысының қирауына сәйкес келеді.

Осылайша, бөлшектердің эрозияға төзімділігін бағалау кезінде энергетикалық тәсілді қолдану және тозған материалдардың жаңа динамикалық сипаттамаларын енгізу қажет, мысалы, деформация қуатының қауіпті тығыздығы немесе деформация энергиясының қауіпті ағынының тығыздығы, әсер ету жүктемесіндегі материалдардың энергия сыйымдылығын ғана емес, сонымен қатар олардың деформация жылдамдығына сезімталдығын да ескереді.

Авторлардың қосқан үлесі

К.К.Сейтказенова, Д.С.Мырзалиев – тұжырымдама, әдістеме, ресурстар

О.Б. Сейдуллаева, А.Б. Усеров, А.А. Аманжол – мәліметтер жинау, жазу, өңдеу, талдау, визуализация, қаржыландыру

Әдебиеттер тізімі

1. Алексеев В.К., Бодрышев В.В., Денисов Ю.Д. и др. Экспериментальное исследование прочности при импульсных каплеударных нагружениях // Проблемы прочности.–1977, №6.–С.110-113.
2. Peterson T.L. ASTM. Eros. Conf. Vail. Colorado.– 1978.–282 p.
3. Сейтказенова К.К., Арапов Б.Р., Шокобаева Г.Т., Телешева А.Б. Оценка разрушающего воздействия кавитации на конструкционные материалы // Вестник КазНУ №5 2017, ст. 140-143.
4. Погодаев Л.И., Кузьмин В.Н., Дудко П.П. Повышение надежности трибосопряжений. С-ПБ.: Академия транспорта Российской Федерации, 2001. – 304с.
5. Аскарлов М.А. Кавитационное разрушение металлов и полимеров.–Тбилиси: Сабчота Сакартвелло, 1974.–140 с.
6. Coronado J. J. Effect of Abrasive Size on Wear. Abrasion Resistance of Materials 2012. 167-184 p.
7. Спринджер Дж.С. Эрозия при воздействии капель жидкости.–М.: Машиностроение, 1981.–199 с.
8. Погодаев Л.И., Сейтказенова К.К., Суендыкова К.Б. Структурно - энергетическая модель кавитационной эрозии материалов //Мат. межд. науч.-практ. конф. «Железнодорожный транспорт Казахстана: История и перспективы экономического роста».–Алматы, 2004.–С.186-188.
9. Погодаев Л. И., Кузьмин А. А., Касьянова Н. Р., Сейтказенова К. К. Трение, износ, смазка www.tribo.ru Том 17 N63 01 июня 2015 1 Моделирование гидроэрозии материалов (часть 2*).
10. Сейтказенова К.К.Мырзалиев Д.С., Суендыкова М.М. Асылбек М., Ергали К.Е. Анализ износостойкости материалов при кавитации в зависимости от механических и кинетических характеристик //Технология текстильной промышленности, № 5 (389) 2020, с.26-33.

К.К.Сейтказенова, Д.С.Мырзалиев*, О.Б.Сейдуллаева, А.А. Аманжол, А.Б. Усеров
Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

Эрозионные повреждения при импульсных каплеударных нагрузениях

Аннотация. В статье рассматривается поведение материала при импульсной капельной нагрузке. Описан процесс взаимодействия капли с барьерной поверхностью. Выявлены наиболее напряженные зоны, способные к разрушению. Показано гидравлическое давление, действующее на контактную поверхность. Процессы, происходящие при столкновении жидкой частицы с материалом, характеризуются поэтапно. На первом этапе в материале и частице жидкости возникают волны напряжений и деформаций. Далее капли жидкости вводятся в сопротивление и глубина их введения зависит от отношения мощности внешнего воздействия к мощности деформации материала, соответствующей его разрушению. На третьем этапе в материале происходит ослабление ударных волн и инерционное расширение кратера. В условиях ударного нагружения, когда напряжения сдвига больше критерия текучести, в материале возникает пластическая волна, скорость которой непостоянна и зависит от особенностей деформационного упрочнения микрообъемов материала. Изменение скорости данной пластической волны учитывает критическая скорость удара $v_{кр}$ - интегральная характеристика, отвечающая за деформирование материала вплоть до разрушения.

Предложена динамическая характеристика, например, критическое значение плотности мощности деформации или критическое значение плотности энергии деформации, характеризующая энергоемкость материалов при внешнем ударном воздействии и их реакцию на скорость деформации.

Ключевые слова: каплеударное нагружение, импульсное нагружение, эрозионная стойкость, критическая скорость удара, гидравлическое давление, плотность мощности деформации.

K.K.Seitkazinova, D.S. Myrzaliyev*, O.B.Seidullayeva, A.A.Amanzhol, A.B.Usserov
South Kazakhstan University named after M. Auezov, Republic of Kazakhstan, Shymkent

Erosion damage under pulsed drop-impact loadings

Abstract. Material behavior under impulse drop-impact loading is considered. The process of interaction of the drop with the surface of the barrier is described. The most stressed areas capable of fracture are revealed. The hydraulic pressure acting on the contact surface is shown. The processes occurring at impact of part of the liquid with a material are described step by step. At the first stage, stress and strain waves appear in the material and in part of the liquid. Further drops of liquid embed into the barrier and their depth of embedding depends on the ratio of the power of external impact to the power of deformation of the material corresponding to its destruction. During the third stage, shock wave attenuation in the material and inertial expansion of the crater occur.

Under shock loading conditions, when shear stresses are greater than the yield criterion, a plastic wave appears in the material, the speed of which is not constant and depends on the features of strain

hardening of micro-volumes of the material. The change in the velocity of this plastic wave is taken into account by the critical impact velocity ϑ_{cr} - an integral characteristic responsible for deformation of the material up to fracture.

A dynamic characteristic, such as the critical value of strain power density or the critical value of strain energy density, characterizing the energy content of materials under external impact and their rate response to the strain is proposed.

Keywords: drop-impact loading, impulsive loading, erosion resistance, critical impact velocity, hydraulic pressure, strain power density

References

1. Alekseev V.K., Bodry`shev V.V., Denisov Yu.D. i dr. E`ksperimental`noe issledovanie prochnosti pri impul`sny`x kapleudarny`x nagruzheniyax // Problemy` prochnosti.-1977, №6.-S.110-113.
2. Peterson T.L. ASTM. Eros. Conf. Vail. Colorado.- 1978.-282 p.
3. Sejtkenzenova K.K., Arapov B.R., Shokobaeva G.T., Telesheva A.B. Ocenka razrushayushhego vozdejstviya kavitacii na konstrukcionny`e materialy` // Vestnik KazNITU №5 2017, st. 140-143.
4. Pogodaev L.I., Kuz`min V.N., Dudko P.P. Povy`shenie nadezhnosti tribosopryazhenij. S-PB.: Akademiya transporta Rossijskoj Federacii, 2001. - 304s.
5. Askarov M.A. Kavitacionnoe razrushenie metallov i polimerov.-Tbilisi: Sabchota Sakartvelo, 1974.-140 s.
6. Coronado J. J. Effect of Abrasive Size on Wear. Abrasion Resistance of Materials 2012. 167-184 p.
7. Sprinzher Dzh.S. E`roziya pri vozdejstvii kapel` zhidkosti.-M.: Mashinostroenie, 1981.-199 s.
8. Pogodaev L.I., Sejtkenzenova K.K., Suendy`kova K.B. Strukturno - e`nergeticheskaya model` kavitacionnoj e`rozii materialov //Mat. mezhd. nauch.-prakt. konf. «Zheleznodorozhny`j transport Kazaxstana: Istoriya i perspektivy` e`konomicheskogo rosta».-Almaty`, 2004.-S.186-188.
9. Pogodaev L. I., Kuz`min A. A., Kas`yanova N. R., Sejtkenzenova K. K. Trenie, iznos, smazka www.tribo.ru Tom 17 N63 01 iyunya 2015 1 Modelirovanie gidroe`rozii materialov (chast` 2*).
10. Sejtkenzenova K.K., My`rzaliev D.S., Suendy`kova M.M. Asy`lbek M., Ergali K.E. Analiz iznosostojkosti materialov pri kavitacii v zavisimosti ot mexanicheskix i kineticheskix xarakteristik //Texnologiya tekstil`noj promy`shlennosti, № 5 (389) 2020, s.26-33.

Авторлар туралы мәлімет:

Сейтказенова Казира Камешовна – техника ғылымдарының докторы, «механика және мұнайгаз ісі» факультеті, «М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті» КЕАҚ, Шымкент, 160016, Қазақстан Республикасы

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

Сейдуллаева Орынғұл Бахытқызы – «Машинажасау» БББ бойынша докторант, «механика және мұнайгаз ісі» факультеті, «М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті» КЕАҚ, Шымкент, 160016, Қазақстан Республикасы

Аманжол Аружан Алмасқызы – магистрант, «механика және мұнайгаз ісі» факультеті, «М.ӘУЕЗОВ атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті» КЕАҚ, Шымкент, 160016, Қазақстан Республикасы

Усеров Алтынбек Батырбекұлы – «Машинажасау» БББ бойынша докторант, «механика және мұнайгаз ісі» факультеті, «М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті» КЕАҚ, Шымкент, 160016, Қазақстан Республикасы

Сейтказенова Казира Камешовна – доктор технических наук, факультет «Механика и нетегазовое дело» НАО «Южно-Казакстанский университет им.М.Ауэзова», Шымкент, 160016, Республика Казахстан.

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

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

Аманжол Аружан Алмасқызы – магистрант, факультет «Механика и нефтегазовое дело», НАО «Южно-Казакстанский университет им.М.Ауэзова», Шымкент, 160016, Республика Казахстан.

Усеров Алтынбек Батырбекович – докторант по ОП «Машиностроение», факультет «Механика и нефтегазовое дело», НАО «Южно-Казакстанский университет им.М.Ауэзова», Шымкент, 160016, Республика Казахстан.

Seitkazenova Kazira Kameshovna – Doctor of Technical Sciences, Faculty of Mechanics and Oil and Gas Engineering, NAO «M.Auezov South Kazakhstan University», Shymkent, 160016, Republic of Kazakhstan

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

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

Amanzhol Aruzhan Almazkyzy – Master student, Faculty of Mechanics and Oil and Gas Engineering, NAO «M.Auezov South Kazakhstan University», Shymkent, 160016, Republic of Kazakhstan

Usserov Altynbek – Doctoral student in Mechanical Engineering, Faculty of Mechanics and Oil and Gas Engineering, NAO «M.Auezov South Kazakhstan University», Shymkent, 160016, Republic of Kazakhstan



Copyright: © 2024 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

Article

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-149-4-293-307>

Recycling in the logistics management system

O.V. Garmash^{id}, L.M. Malikova^{id}, G.V. Muratbekova^{id}, B. Manarbekkyzy^{id},
M.E. Kalekeyeva*^{1id}

Civil Aviation Academy, Almaty, Kazakhstan

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

Abstract. The application of recycling in the logistics management system will make it possible to create and maintain an effective and sustainable waste management system that will allow waste to be used as secondary raw materials or energy, instead of being thrown into landfills. The entities involved in the recycling process are manufacturers, importers, and trading institutions that introduce recycled goods to the market. The study used statistical analysis, systems analysis, synthesis, generalization, comparison, and analysis of literary sources.

The problem of waste disposal is currently one of the most pressing in the world. Industrial waste is formed as a result of human production activities in various industries. Recycling, which is the repeated transformation of substances or materials contained in industrial waste, is designed to solve waste disposal problems in order to obtain a substance or material with a primary or other purpose. The considered processes of utilization and recycling of waste of enterprises are only a part of the problems existing in this area. The scale of environmental projects is quite extensive, and logistics is featured everywhere, since logistics is based on the principle of rational use of resources.

Keywords: logistics, ecology, waste, pellets, processing, secondary raw materials, reverse flows, recycling.

Received 09.12.2024. Revised 18.12.2024. Accepted 23.12.2024. Available online 31.12.2024

^{1*}the corresponding author

Introduction

The topic of recycling in the logistics management system is relevant and has great significance for achieving sustainable development. In recent years, the problem of waste disposal and recycling has become increasingly relevant in light of the growing problem of the environmental crisis. Growing consumption and lack of waste management measures lead to environmental pollution and depletion of natural resources.

In the logistics management system, recycling is closely linked to supply chain management and waste disposal. Proper planning and coordination of the recycling process can reduce resource consumption, reduce the negative impact on the environment, and create a more sustainable waste management system [1].

Recycling also has economic significance. Reuse and recycling of waste can reduce the costs of purchasing new materials and raw materials, as well as create additional sources of income through the sale of secondary raw materials. From an environmental perspective, logistics covers the entire “life cycle” of a product, in particular the need to dispose of waste in various ways, the choice of the most environmentally friendly means of transport, etc. Logistics concerns not only the economic problems of enterprises, but also issues related to the need to take into account the problems of society and environmental protection.

Organizing an effective recycling process requires the development and implementation of appropriate strategies and policies. It is important to consider the integrity of the logistics management system to ensure effective collection, sorting, recycling and reuse of waste.

In addition, the introduction of a recycling system into logistics management can enhance the company's reputation and attract consumers who are increasingly focused on goods and services created with an environmental component in mind.

Overall, recycling in the logistics management system is a relevant and important topic that can bring significant environmental, economic and social benefits.

The application of recycling in logistics management systems can significantly improve the efficiency and environmental sustainability of the processes of transportation and storage of goods [2].

Justification:

Reducing resource consumption: Recycling allows waste and materials to be reused, thereby reducing the consumption of natural resources. In logistics, this can be applied, for example, by using packaging materials made from recycled paper or plastic.

Cost reduction: Reusing and recycling materials can help reduce the cost of acquiring new resources. This is especially true when expensive materials are used, such as in the manufacturing of electronics or automobiles.

Waste reduction: Recycling can reduce the amount of waste that would otherwise end up in landfills or incinerated. This helps reduce the environmental impact of waste and reduce negative impacts on the environment.

Improved corporate image: Proactively implementing recycling in logistics activities can improve a company's image, especially in the eyes of an environmentally conscious audience. This can attract new customers and partners, as well as help retain existing customers.

Additional Marketing Opportunities: Companies can use their recycling efforts as part of their marketing strategy. This can help attract the attention of potential customers and convey a message about the company's concern for the environment and sustainability.

Compliance with Laws: Many countries already have laws and regulations that require companies to adhere to certain environmental standards and sustainability principles. Recycling can help companies comply with these requirements and avoid potential fines or penalties [2].

Thus, the hypothesis suggests that the introduction of recycling into the logistics management system can lead to a reduction in resource consumption, a decrease in costs, a reduction in waste, an improvement in the company's image and the creation of additional marketing opportunities.

Recycling in logistics is the process of reusing materials, components, and packaging to reduce waste and save resources. It is an important aspect of sustainable development and is becoming increasingly important for logistics companies worldwide. In this literature review, we will consider the main aspects of recycling in logistics.

Modern research and practical examples:

The study "The role of recycling in logistics management" by MHH Gadalla examines the role of recycling in reducing costs and improving the efficiency of logistics operations.

"Implementing reverse logistics: small retailer perspectives" explores the perspectives of small retailers on the implementation of reverse logistics and recycling.

Case study: UPS successfully implements a system of recycling and reuse of packaging, which reduces the use of new materials and reduces costs [5].

According to the author A.A. Fayustov, recycling should be given a broader meaning, and it should include not only the processing (utilization) of waste, but also the improvement of the quality of life based on progress in ecology, economics and even politics [3]. According to A.A. Chelnokov, L.F. Yushchenko, recycling is an area in which the scale and degree of processing of different types of raw materials varies significantly depending on the resource value of the waste raw materials [6].

The flow of goods and materials, having passed through the stages of production, distribution, circulation and consumption, does not complete its life cycle. As B. Gabosch and K. Richter rightly note, "the flow of materials, as a rule, does not end at the consumer and is often not directed only in one direction." And further: "While the production and distribution of goods actually proceed only in the direction from the supplier through the manufacturer to the consumer (primary flow), there is also a reverse flow of materials. Planning this flow, its organization and management is the task of reverse flow logistics."

Vinogradov V.M., Khromtsova O.V. believe that reverse logistics "includes flows of raw materials, work-in-progress stocks, finished goods and related information moving from the point of consumption to the point of their origin for the purpose of restoring value and proper disposal" [7]. O.N. Zueva, agreeing that the goal is to restore value and proper disposal, includes dangerous, damaged, expired and used goods, as well as containers in the flows returning from the sphere of circulation and consumption as a result of the reverse distribution of finished products, for the purpose of restoring value and proper disposal. True, in this case we are talking about reverse logistics, but the goals, as we can see, coincide. As for the reverse flows,

their movement is directed in the direction opposite to the direct flow and in this case the substantive side of the concept of "reverse logistics" does not raise questions. Questions arise when considering the structure of return flows presented in the works of a number of authors. Thus, P.A. Terentyev believes that reverse logistics characterizes the flows of "raw materials, unfinished production, packaging and finished products, going from the points of production, distribution and final use back along the chain of flows with the aim of returning their consumer properties or destruction."

A slightly different definition is given by S.V. Potapova and S.A. Shakhnazaryan, who believe that reverse logistics "includes not only the return of goods, but also the movement of the following inventory items: pallets, container carts, and other containers for packaging individual items and goods that require temperature control (e.g., thermal covers); used packaging returned for reuse, recycling, or disposal, spare parts, goods sent for repair and goods returned from repair, movement of commercial and office equipment, secondary resources, and waste. This is the process of returning inventory items from the consumption sphere to the production sphere that can be reused and repaired." In our opinion, the concepts of "reverse" and "return" flows are interpreted as synonyms, since the structure of flows in both cases is largely the same.

The methodology

Life cycle analysis (LCA). This method allows to evaluate the energy and environmental efficiency of the recycling process taking into account all stages of the product life cycle, from its production to disposal.

Reverse Supply Chain Engineering. This method involves the analysis and optimization of the reverse flows of materials and components in the reverse logistics chain. It allows for the optimization of waste collection, recycling, and reuse processes.

Circular economy. This method is based on the concept of "from waste to resources". It involves minimizing waste and maximizing the use of resources, improving the recycling and reuse of materials [8].

System analysis. This method allows to study the interaction of various elements and processes in the recycling system, as well as to identify key factors influencing the efficiency of this system.

Life Cycle Costing (LCC) Analysis: This method takes into account all costs associated with the recycling process, from production to disposal. This helps determine the cost effectiveness and feasibility of recycling.

All these methods allow us to study and optimize recycling processes in logistics in order to increase efficiency and resource conservation [9].

Findings/Discussion

To illustrate, we will examine the processing of sawdust. Wood is used in many areas of human life. In many of them, it undergoes special processing, which leaves behind a lot of waste. Often they are not used in any way, they are thrown away or burned, sometimes they are disposed of, for which the enterprise has to pay money and spend other resources.

One of the most rational ways to use them is to create a business for processing wood waste. In one quantity or another, this type of waste is available in any region of the country.

The main type of finished products obtained as a result of processing are fuel briquettes, granules, pellets, which are used in solid fuel boilers and are in great demand. Fuel pellets are granules that are obtained by pressing organic waste: wood, peat, straw, sunflower husks and other agricultural waste [10].

The problem of energy conservation has become a topical issue for discussion in the modern world. Moreover, this problem can be considered from different positions. Power engineers believe that the ideal fuel should be cheap and profitable. Environmentalists pay attention to emissions. Unfortunately, to this day, the problem of using alternative sources such as pellets rests only on the technical aspect of collecting, processing and delivering the finished product to the client at competitive prices. Fuel should be profitable, have good combustion efficiency, be easy to transport, be repackaged, be universal in storage and be safe.

The history of pellet use goes back to the distant past. In the 19th century, people heated their houses with compacted wood chips. Today, pellets are mainly used to heat private cottages, and since this type of urban housing is quite interesting for local residents, the topic of heating with pellets will be of interest to a wide range of consumers. In addition, this type of fuel is currently widely used in thermal power plants in Europe.

The idea of pellet production first arose in Germany, the purpose of creating this product was to improve transportation technology. If sawdust is compacted, it is possible to increase the useful area of the machine during transportation and transport rawer materials with minimal costs. Everything ingenious is simple, and later in 1996 this technology was patented and began to be widely used not only for transporting sawdust, but also peat, straw, husks, grass, manure, litter, corn stalks, industrial waste, etc. [11].

The production of wood briquettes is similar to the production of pellets, only briquettes are pressed instead of granules. Briquettes are not as popular as pellets. They are used for the manual heating of the houses, specifically in conjunction with a fireplace. While pellets heat living spaces automatically.

Today they are widespread use in Denmark, Canada, Austria, Finland, the Netherlands, England, Norway, Italy, and France. New Zealand is a major consumer of pellets, this is due to the EU energy program, according to which the member countries of the union must achieve 20% use of renewable energy sources.

Pellets are one of the most energy-intensive types of fuel. The calorific value of wood pellets is comparable to coal and is 4.3-4.5 kW/kg. When burning 1 ton of pellets, the same amount of energy is released as when burning 1.6 tons of wood, 480 m³ of gas, 500 liters of diesel fuel or 700 liters of fuel oil. Tables 1 and 2 present the energy indicators for burning pellets.

Table 1. Heat of combustion of some types of fuel

Fuel type	Heat of combustion, kW/kg
Wood pellets	4,963
Wood briquettes	4,722

Firewood (birch)	2.833 (1278 kW/m3)
Diesel fuel	11.803 (10.15 kW/l)
Coal	6,133
Natural gas	8,000 kW/m3
Note – compiled by the author (Comparative characteristics of pellets with other types of fuel)	

Table 2. Fuel consumption during the heating season

Fuel type	Amount of fuel
Wood pellets	20 t
Wood briquettes	21.5 t
Firewood (birch)	78.5 cubic meters
Diesel fuel	9887 l
Coal	16.3 t
Natural gas	12544 cubic meters
Electricity	100 MW*hour
Note – compiled by the author (Comparative characteristics of pellets with other types of fuel)	

The most convenient and widespread method of pellet delivery is transportation by truck. Pre-packaged in special polypropylene packaging pellets (see Figure 1) are sent to the destination by special vehicle. The advantages of this method of transportation include the multifunctionality of the transport used, as well as the ease of accounting for the shipped fuel batches (bags with a capacity of up to 30 kg).



Figure 1. Pellets packaged in special polypropylene packaging [12]

But this method of delivery also has its disadvantages, among which are the need to use manual labor and physical force, as well as additional mechanical manipulations exerted on the pellets during loading and unloading operations.

Manufacturers also pack the material into huge plastic bags, commonly referred to as big bags (up to 1200 kg each).

Their delivery is carried out exclusively with the help of special vehicles and a crane; partial automation is also permissible, namely the transportation of pellets on pre-prepared pallets, but, unfortunately, this does not relieve the end user from the need to manually unload the fuel into the boiler bunker.



Figure 2. Packing pellets into big bags [12]

As it was said earlier, Germany became the birthplace of the term pellets, if a little more from history our ancestors also used dried manure for heating. But the Germans went further in this matter; today they produce special equipment for transportation, which allows saving time on loading and unloading operations.

An alternative is to deliver pellets using specialized vehicles (see Figure 3). This type of delivery has gained wide popularity and distribution in the West and in Europe, where the majority of orders for the transportation of pellets to consumers of domestic boilers are delivered in this way.

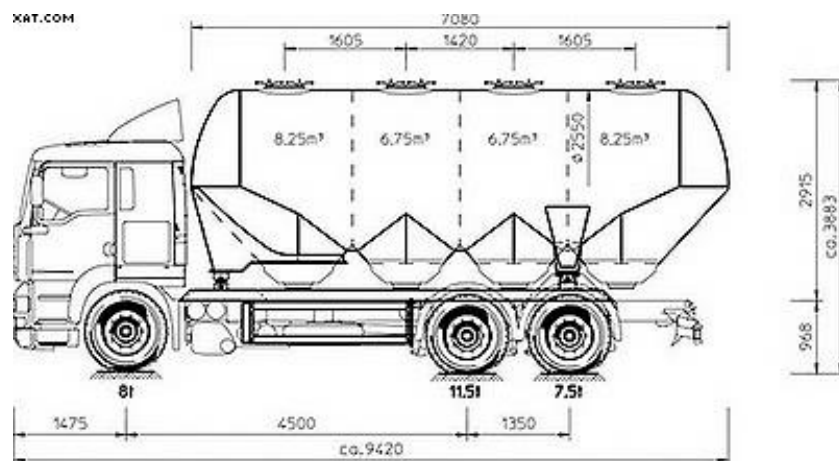


Figure 3. Pneumatic pellet loader [12]

Delivery of pellets by special vehicles – a silo truck or a pneumatic unloader (in Germany it is called Silowagen, that is, a silo truck, or Pelletslander – a pellet truck) is widespread in European

countries, especially in Germany and Austria, where most orders for the delivery of pellets to users of domestic boilers are carried out in this way.

The loading is recorded using automated systems that record changes in the pressure on the vehicle axles and calculated data obtained using the method of specific loading into the bunker [13].

This method of transportation has significant advantages:

- minimal costs for loading and unloading operations, which allows the seller to save money, since there is no need to hire a team of loaders - the loading and unloading process is fully automated;

- convenience for the consumer due to the increase in the number of customers, since the consumer now has the opportunity to receive pellets directly into the bunker of his boiler, without reloading and storage space;

- high speed of service due to the increase in the number of clients and reduction in transport downtime costs, since unloading pellets using pneumatic transport, as well as bunker loading into a vehicle, takes less time.

A pneumatic unloader is a cylindrical or rectangular container divided into several chambers (compartments) with a compressor for air supply, installed on the chassis of a truck, or in the form of a trailer or semi-trailer to a truck tractor.

These machines can transport from 15 to 28 tons of pellets, and even more with an additional trailer. Unloading is automatic, the driver enters a special ID code on the control panel located on the warehouse console. Pellets are fed from the warehouse upwards by an inclined belt conveyor, at the end of which there is a sieve, through which wood dust is sifted out and dumped into the conveyor chute, thus minimizing the dust content in pellets to 1%, and above the receiving hatch of the truck silo, pellets are poured into a large-diameter synthetic sleeve and from it they are fed into the transport tanks.

The driver takes a sample of the loaded pellets into a small plastic container or metal case and goes to the plant laboratory, where the pellets' moisture content, degree of abrasion, bulk density, and dimensions are determined. Then these pellets are poured into two bags, on which the results of laboratory tests, the date of shipment, and the vehicle number are recorded. One of the bags remains at the manufacturing plant, the second is transferred to the carrier. Using such simple methods, the quality of the pellets is monitored and controlled. After loading the silo truck, the weight is checked using electronic scales. 19 tons (full load) is the order volume for three homeowners per year (6 tons each, plus a small reserve). To properly distribute the load and improve control when moving to the next unloading location, the first chamber of the silo is first emptied (counting from the cabin). After the first, the fourth, and then the second and third chambers are unloaded. And in winter, when the road is slippery, the fourth compartment is never completely unloaded in order to slightly load the rear axles of the car. Figure 4 below shows a pellet truck.



Figure 4. Pneumatic pellet carrier [12]

Today, the market of manufacturers of specialized rolling stock is quite wide. In the process of evolution of delivery by road transport, German manufacturers faced the problem of delivery to narrow quarters of small cities and released a new series of low-tonnage pneumatic vehicles. Today, in Germany and other European countries, a market of used specialized vehicles for the transportation of pellets has already formed, where this transport can be purchased at quite reasonable prices and in good technical condition. The most economically feasible option can be considered the purchase of a semi-trailer.

The average pellet unloading speed is 1 m³ (650 kg) in 7 minutes. The developers managed to achieve the ability to unload pellets with a total length of unloading hoses up to 60 m. The height of the truck with a body is 2.61 m (without loading) and 2.53 m (with loading), the width is 2.30 m, the length is 6.77 m. For comparison: an 18-ton silo truck is 3.84 m high and 2.55 m wide. The cost of a new machine is 130 thousand euros. In Europe, a new 18-ton silo truck transports an average of 3 thousand tons of pellets per year and pays for itself in about four years.

According to the calculations of the equipment manufacturer, the profit per route can reach 500-800 euros, the payback period corresponds to 1.5 to 2 years. But for these data to have their result, the vehicle must make 100-120 trips per year [14].

It is clear that in practice such decisions are made on the basis of a much more complex analysis, taking into account a much larger number of factors, such as: the ratio of prices in various market segments, the choice between the export and domestic market, the ability to provide a particular level of quality, and so on. But the use of such transport and the payback period in our republic can take place in any case. Pellet production plants already exist in the Republic of Kazakhstan, the only open question today is the collection, delivery of finished raw materials to the consumer and competitive prices. Conclusions. Pellets can become an alternative for heating private houses in our country, since the consumption of pellets during the heating season is 27 tons compared to diesel fuel 13,347 liters and coal 22 tons. Despite the fact that we do not produce special equipment on the territory of our country, it is possible to use equipment manufactured in the EU countries that have been tested on the roads for several years. It is necessary to develop a logistics scheme for the delivery of finished raw materials to the consumer; in the economic calculations of the payback of this project, it is necessary to calculate the number of trips, which is an integral part of the payback.

Environmental protection and sustainable development have become one of the main topics of modern society. Recycling, or waste processing, is one of the key elements in this process. Proper organization of waste processing not only saves natural resources, but also contributes to the improvement of the logistics system as a whole [15].

Logistics management includes the management of flows of goods, information and money. It is aimed at achieving optimal indicators of production and delivery of goods at the right time and with the required quality characteristics. Recycling, as an important component of the logistics system, ensures more efficient use of resources and a reduction in the negative impact on the environment.

One of the main advantages of recycling in the logistics management system is the saving of resources. By recycling waste, materials can be reused, which reduces the need to extract new resources. As a result, the use of energy, water and other natural resources is reduced, which in turn reduces the costs of their extraction and production.

Pellet production in recycling is a process of converting waste into a high-quality fuel. Pellets are a specific type of fuel that are granules of compressed and processed biomass, peat, wood and other organic materials.

The recycling of pellets offers a number of advantages. Firstly, it helps to reduce the amount of waste and the negative impact on the environment. The second advantage is that pellets are an environmentally friendly and efficient type of fuel that can be used in a variety of applications, including heating houses and businesses, as well as generating electricity.

The pellet manufacturing process involves several stages. The initial stage, of the manufacturing process involves the crushing and drying of the raw material. Then it is mixed with certain additives to provide the required pellet characteristics. The mixture is then pressed into granule form and then fired to increase the pellet strength and durability [4].

Conclusion

Using pellets as fuel has a number of advantages. Firstly, they are environmentally friendly, as their combustion produces fewer harmful substances than traditional fuels. Secondly, the production of pellets facilitates the recycling of waste materials and minimizes the consumption of natural resources. In addition, pellets have a high specific energy value, which makes them an effective type of fuel.

However, recycling in the logistics management system may face some problems. The lack of educational programs and information about waste recycling hinders the effective organization of recycling. The lack of infrastructure for waste collection and processing is also a significant obstacle.

To successfully implement recycling in the logistics management system, it is necessary to take a number of measures. Firstly, it is necessary to create educational programs aimed at raising awareness of the importance of recycling and the correct methods of its implementation. Secondly, it is necessary to develop infrastructure [16].

Also, the process of pellet production in recycling also has some disadvantages. Firstly, it requires certain financial investments at the stage of purchasing and servicing the necessary equipment. Secondly, the process of pellet production can be energy-intensive and require a large amount of raw materials.

In general, pellet production in recycling is a promising direction in the field of waste processing. It allows for efficient use of resources and reduction of negative impact on the environment. However, for its successful implementation it is necessary to ensure sufficient investments and modern equipment.

The contribution of the authors.

Garmash O.V. – 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.

B. Manarbekkyzy – participated in the critical revision of the content of the article and in the approval of the final version for publication

L.M. Malikova, Kalekeyeva M.E. – 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

1. Marchenko A.V. Recikling v logistike / A. V. Marchenko // Sbornik konkursnyh nauchnyh rabot studentov i magistrantov: v 2 chastjah / Ministerstvo obrazovaniya Respubliki Belarus', Brestskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet; redkol.: N. N. Shalobyta [i dr.]. – Brest: BrGTU, 2019. – 177 s.
2. Pavlova V.V. Reversivnaja logistika: uchebno-metodičeskoe posobie dlja studentov napravlenija special'nosti «Transportnaja logistika (avtomobil'nyj transport)» / sost. V. V. Pavlova. – Minsk: BNTU, 2022. – 52 s.
3. Dnishev Fajustov A.A. Utilizacija promyšlennyh othodov i resursosberezhenie: osnovy, koncepcii, metody: monografija. - Moskva; Vologda: Infra-Inzhenerija, 2019. - 272 s.
4. Noak A. Sposoby pererabotki drevesnyh othodov [Jelektronnyj resurs]. – 2016. - URL: <https://andreyoak.ru/biznes/sposoby-pererabotki-drevesnyh-othodov/> (data obrashhenija: 03.10.2024)
5. UPS zapuskaet pervoe v svoem rode reshenie dlja povtornogo ispol'zovaniya upakovki. [Jelektronnyj resurs]. – 2020. - URL: <https://logistics.ru/ustoychivoe-razvitie/ups-zapuskaet-pervoe-v-svoem-rode-reshenie-dlya-povtornogo-ispolzovaniya> (data obrashhenija: 03.10.2024)
6. Chelnokov A.A., Jushhenko L.F. Obrashhenie s othodami: uchebnoe posobie / A.A. Chelnokov, L.F. Jushhenko, I.N. Zhmyhov, K.K. Jurashhik. - Rekreativnye resursy, 2017. - 465 s.
7. Vinogradov V.M., Hramcova O.V. Recikling i utilizacija transportnyh sredstv. - Knorus, 2022 g. – 306 s.
8. Golubeva, E.R. Recikling i pererabotka othodov [Tekst] / E.R. Golubeva, O.B. Ionov. - M.: Feniks, 2014.
9. Lazarev V.A., Kul'kova I.A. Reversivnaja logistika logistika vozvratnyh i obratnyh potokov. [Jelektronnyj resurs]. – 2019. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reversivnaya-logistika-logistika-vozvratnyh-i-obratnyh-potokov> (data obrashhenija: 01.11.2024)
10. Klinkov A.S., Beljaev P.S. Utilizacija i pererabotka tvjordyh bytovyh othodov: uchebnoe posobie / A. S. Klinkov, P. S. Beljaev, V. G. Odnol'ko, M. V. Sokolov, P. V. Makeev, I. V. Shashkov. – Tambov: Izd-vo FGBOU VPO «TGTU», 2015. – 100 jez. – 188 s.

11. Kokurin D.I. Osnovy reciklinga. Obshhaja teorija: uchebnoe posobie dlja bakalavriata i magistratury / D.I. Kokurin, K.N. Nazin – M.: Izdatel'stvo Jurajt, 2019. – 121 s.
12. Perederij S. Perevozka pellet, ili chto obshhego u pylesosa i transporta, perevozhshhego granuly. LesPromInform №8 (90)'2012. [Jelektronnyj resurs]. – 2012. - URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=2981> (data obrashhenija: 01.11.2024)
13. Horoshavin, L.B. Osnovnye tehnologii pererabotki promyshlennyh i tverdyh kommunal'nyh othodov: [ucheb. posobie] / L. B. Horoshavin, V. A. Beljakov, E. A. Svalov; [nauch. red. A. S. Noskov]; M-vo obrazovaniya i nauki Ros. Federacii, Ural. feder. un-t. – Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2016. – 220 s.
14. Rukovodstvo po utilizacii i pererabotke othodov / pod red. V.M. Shnejdera. - M.: Zashhita okruzhajushhej sredy, 2015.
15. Barchukova, I.S. Pererabotka polimernoj tary / I.S. Barchukova. - M.: Izd-vo MGTU im. N. Je. Bauman, 2019. – 100 s.
16. F., Al'zhanova F. Razvitie innovacij i tehnologij v uslovijah globalizacii: mirovoj opyt i Kazahstan / F. Dnishev, F. Al'zhanova. Almaty: Institut jekonomiki KN MON RK, 2013. – 62 s.

О.В. Гармаш, Г.В. Мұратбекова, Л.М.Маликова, Б.Манарбекқызы, М.Е. Қалекеева

Азаматтық авиация академиясы, Алматы қаласы, Қазақстан

Логистикалық басқару жүйесіндегі рециклинг

Аңдатпа. Логистикалық басқару жүйесінде рециклингті қолдану қалдықтарды қоқыс тастайтын жерге тастаудың орнына оларды қайталама шикізат материалдары немесе энергия ретінде пайдалануға мүмкіндік беретін қалдықтарды басқарудың тиімді және тұрақты жүйесін құруға және қолдауға мүмкіндік береді. Өндірушілер, импорттаушылар, сондай-ақ нарыққа рециклинг тауарларын енгізетін сауда мекемелері рециклинг процесіне қатысатын субъектілер болып табылады. Әдісі: статистикалық талдау, жүйелі талдау, синтез, жалпылау, салыстыру, әдеби дереккөздерді талдау.

Қалдықтарды кәдеге жарату проблемасы қазіргі уақытта бүкіл әлемдегі ең өзекті проблемалардың бірі болып табылады. Өнеркәсіптік өндірістің қалдықтары өнеркәсіптің әртүрлі салаларындағы адамның өндірістік қызметінің нәтижесінде пайда болады. Қалдықтарды кәдеге жарату проблемаларын бастапқы немесе өзге мақсаттағы субстанцияны немесе материалды алу мақсатында өндіріс қалдықтарындағы субстанцияларды немесе материалдарды қайта түрлендіру болып табылатын рециклинг шешуге арналған.

Кәсіпорындардың қалдықтарын кәдеге жарату мен қайта өңдеудің қаралған процестері осы саладағы проблемалардың бір бөлігі ғана болып табылады. Экологиялық жобалардың ауқымы айтарлықтай кең және логистика барлық жерде пайда болады, себебі логистика ресурстарды ұтымды пайдалану қағидатына негізделеді.

Түйін сөздер: логистика, экология, қалдықтар, пеллеттер, қайта өңдеу, қайталама шикізат, кері ағындар, рециклинг.

О.В. Гармаш, Г.В. Муратбекова, Л.М. Маликова, Б. Манарбекқызы, М.Е. Калекеева

Академия Гражданской Авиации, г. Алматы, Казахстан

Рециклинг в системе логистического управления

Аннотация. Применение рециклинга в системе логистического управления даст возможность создавать и поддерживать эффективную и устойчивую систему управления отходами, которая позволит использовать отходы как вторичные сырьевые материалы или энергию, вместо их выбрасывания на свалку. Субъектами, участвующими в процессе рециклинга, являются производители, импортеры, а также торговые учреждения, которые внедряют товары рециклинга на рынок. В исследовании были использованы статистический анализ, системный анализ, синтез, обобщение, сравнение, анализ литературных источников.

Проблема утилизации отходов в настоящее время является одной из самых актуальных во всем мире. Отходы промышленного производства, образуются в результате производственной деятельности человека в различных отраслях промышленности. Проблемы утилизации отходов призван решить рециклинг, который является повторным преобразованием субстанций или материалов, содержащихся в отходах производства, с целью получения субстанции или материала с первичным или с иным назначением. Рассмотренные процессы утилизации и переработки отходов предприятий являются всего лишь частью существующих в данной области проблем. Масштабы экологических проектов довольно обширны, и везде фигурирует логистика, так как логистика базируется на принципе рационального использования ресурсов.

Ключевые слова: логистика, экология, отходы, пеллеты, переработка, вторсырье, обратные потоки, рециклинг.

References

1. Marchenko A.V. Recikling v logistike / A. V. Marchenko // Sbornik konkursnyh nauchnyh rabot studentov i magistrantov: v 2 chastjah / Ministerstvo obrazovaniya Respubliki Belarus', Brestskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet; redkol.: N. N. Shalobyta [i dr.]. – Brest: BrGTU, 2019. – 177 s.
2. Pavlova V.V. Reversivnaja logistika: uchebno-metodičeskoe posobie dlja studentov napravlenija special'nosti «Transportnaja logistika (avtomobil'nyj transport)» / sost. V. V. Pavlova. – Minsk: BNTU, 2022. – 52 s.
3. Dnishev Fajustov A.A. Utilizacija promyšlennyh othodov i resursosberezhenie: osnovy, koncepcii, metody: monografija. - Moskva; Vologda: Infra-Inzhenerija, 2019. - 272 s.
4. Noak A. Sposoby pererabotki drevesnyh othodov [Jelektronnyj resurs]. – 2016. - URL: <https://andreynoak.ru/biznes/sposoby-pererabotki-drevesnyh-othodov/> (data obrashhenija: 03.10.2024)
5. UPS zapuskaet pervoe v svoem rode reshenie dlja povtornogo ispol'zovaniya upakovki. [Jelektronnyj resurs]. – 2020. - URL: <https://logistics.ru/ustoychivoe-razvitie/ups-zapuskaet-pervoe-v-svoem-rode-reshenie-dlya-povtornogo-ispolzovaniya> (data obrashhenija: 03.10.2024)
6. Chelnokov A.A., Jushhenko L.F. Obrashhenie s othodami: uchebnoe posobie / A.A. Chelnokov, L.F. Jushhenko, I.N. Zhmyhov, K.K. Jurashhik. - Rekreacionnye resursy, 2017. - 465 s.
7. Vinogradov V.M., Hramcova O.V. Recikling i utilizacija transportnyh sredstv. - Knorus, 2022 g. – 306 s.

8. Golubeva, E.R. Recikling i pererabotka othodov [Tekst] / E.R. Golubeva, O.B. Ionov. - M.: Feniks, 2014.

9. Lazarev V.A., Kul'kova I.A. Reversivnaya logistika logistika vozvratnyh i obratnyh potokov. [Jeletronnyj resurs]. - 2019. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reversivnaya-logistika-logistika-vozvratnyh-i-obratnyh-potokov> (data obrashhenija: 01.11.2024)

10. Klinkov A.S., Beljaev P.S. Utilizacija i pererabotka tvjordyh bytovyh othodov: uchebnoe posobie / A.S. Klinkov, P.S. Beljaev, V.G. Odnol'ko, M. V. Sokolov, P. V. Makeev, I. V. Shashkov. - Tambov: Izd-vo FGBOU VPO «TGTU», 2015. - 100 jekez. - 188 s.

11. Kokurin D.I. Osnovy reciklinga. Obshhaja teorija: uchebnoe posobie dlja bakalavriata i magistratury / D.I. Kokurin, K.N. Nazin - M.: Izdatel'stvo Jurajt, 2019. - 121 s.

12. Perederij S. Perevozka pellet, ili chto obshhego u pylesosa i transporta, perevozhshhego granuly. LesPromInform №8 (90)'2012. [Jeletronnyj resurs]. - 2012. - URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=2981> (data obrashhenija: 01.11.2024)

13. Horoshavin, L.B. Osnovnye tehnologii pererabotki promyshlennyh i tverdih kommunal'nyh othodov: [ucheb. posobie] / L.B. Horoshavin, V. A. Beljakov, E. A. Svalov; [nauch. red. A. S. Noskov]; M-vo obrazovanija i nauki Ros. Federacii, Ural. feder. un-t. - Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2016. - 220 s.

14. Rukovodstvo po utilizacii i pererabotke othodov / pod red. V.M. Shnejdera. - M.: Zashhita okruzhajushhej sredy, 2015.

15. Barchukova, I.S. Pererabotka polimernoj tary / I.S. Barchukova. - M.: Izd-vo MGTU im. N. Je. Bauman, 2019. - 100 s.

16. F., Al'zhanova F. Razvitie innovacij i tehnologij v uslovijah globalizacii: mirovoj opyt i Kazahstan / F. Dnishev, F. Al'zhanova. Almaty: Institut jekonomiki KN MON RK, 2013. - 62 s.

Information about the authors:

Garmash O.V. - c.t.s., Associate Professor, Academy of Civil Aviation, st. Akhmetova 44, 050039, Almaty, Kazakhstan, 8-777-087-36-19, e-mail: olm78@mail.ru

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

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

Malikova L.M. - c.t.s., docent, , associate professor, Academy of Civil Aviation, st. Akhmetova 44, 050039, Almaty, Kazakhstan, e-mail: larisa.malikova.73@mail.ru

Manarbekkyzy B. - senior lecturer of "Academy of Civil Aviation", st. Akhmetova 44, 050039, Almaty, Kazakhstan, 8-705-297-47-05, baxit.85@mail.ru

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

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

Мұратбекова Г.В. – кандидат технических наук, доцент, профессор Академии Гражданской Авиации, Академия Гражданской Авиации, ул. Ахметова 44, 050039, г.Алматы, Республика Казахстан, 8-701-414-04-07, e-mail: gv170471@mail.ru

Маликова Л.М. – кандидат технических наук, доцент, ассоциированный профессор, ул. Ахметова 44, 050039, г.Алматы, Республика Казахстан, 8-701-355-34-69, e-mail: larisa.malikova.73@mail.ru

Манарбекқызы Б. – сеньор лектор Академии Гражданской Авиации, ул. Ахметова 44, г.Алматы, Республика Казахстан, 8-705-297-97-05, e-mail: baxit.85@mail.ru

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

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

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

Маликова Л.М. – техника ғылымдарының кандидаты, доцент, ассоциированный профессор, Алматы, Ахметова көшесі 44, Қазақстан Республикасы, 8-701-355-34-69, e-mail: larisa.malikova.73@mail.ru

Манарбекқызы Б. – оқытушы, Азаматтық авиация академиясы, Алматы, Ахметова көшесі 44, Қазақстан Республикасы, 8-705-297-47-05, e-mail: baxit.85@mail.ru



Copyright: © 2024 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 67.01.81

Научная статья

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-149-4-308-325>

Провайдер проверки квалификации: опыт расчета приписанного значения в строительной области

О.В. Руденко¹, Д.К. Аноп¹, А.О. Лутай*¹, Н.В. Сошников¹, В.Ф. Шевляков¹,
А.Е. Джексембаева²

¹Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

²Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

(E-mail: *Lutay_ao@mail.ru)

Аннотация. Аккредитованные испытательные лаборатории выполняют не только сертификационные испытания при подтверждении соответствия качества строительной продукции, но и участвуют в текущем контроле качества при строительстве объектов. Важным фактором в достижении достоверности получаемых результатов является квалификация сотрудников лабораторий при проведении испытаний. В статье рассматриваются требования к аккредитованным лабораториям и провайдеру проверки квалификации в части межлабораторных сличительных испытаний. Организация межлабораторных сличительных испытаний при проверке квалификации. Рассмотрены варианты определения приписанного значения при проверке квалификации испытательных лабораторий строительной отрасли и у провайдера проверки квалификации. Приведен алгоритм расчета робастного среднего арифметического значения для определения приписанного значения. Рассмотрены рекомендуемые способы определения приписанного значения в зависимости от продукции и определяемого показателя, необходимое количество образцов и возможность их дальнейшего использования. Приведены примеры определения приписанного значения для разных методов расчета. Даны рекомендации по выбору метода определения приписанного значения с учетом специфики испытаний и характеристик продукции строительной отрасли.

Ключевые слова: межлабораторные испытания, проверка квалификации, приписанное значение, образец проверки квалификации, образец контроля, испытания строительной продукции.

Поступила 21.11.2024. Доработана 10.12.2024. Одобрена 13.12.2024. Доступна онлайн 31.12.2024

¹*автор корреспонденции

Введение

В настоящее время в строительстве аккредитованные испытательные лаборатории выполняют не только сертификационные испытания, но и участвуют в текущем контроле качества. Любая лаборатория, независимо от ее отраслевой принадлежности и формы собственности может быть аккредитована.

На сегодняшний день в Республике Казахстан 206 аккредитованных Испытательных центров и лабораторий по строительным материалам и продукции. Количество аккредитованных строительных лабораторий по областям Казахстана в 2023 и 2024 годах представлены в таблице 1, в графическом виде на рисунке 1.

Таблица 1. Количество аккредитованных строительных лабораторий по областям Казахстана

Наименование области	2023 год	2024 год
Абайская область	2	1
Акмолинская область	8	7
Актюбинская область	14	12
Алматинская область	3	5
Атырауская область	13	12
Восточно-Казахстанская область	9	9
Жамбылская область	7	6
Жетысуская область	4	2
Западно-Казахстанская область	13	14
Карагандинская область	19	17
Костанайская область	6	4
Кызылординская область	10	7
Мангистауская область	9	11
Павлодарская область	9	9
Северо-Казахстанская область	4	6
Туркестанская область	4	3
Улытауская область	2	1
г.Алматы	60	40
г.Астана	31	25
г. Шымкент	17	15
Итого Испытательных центров и лабораторий строительной продукции в РК	244	206

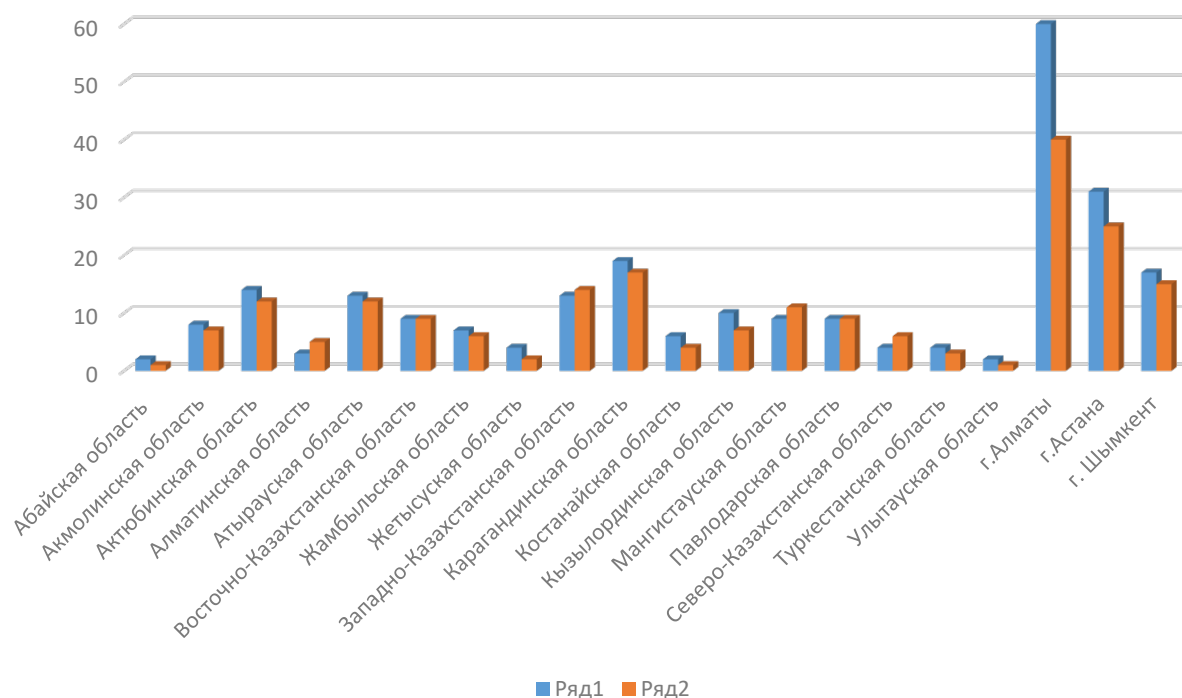


Рисунок 1. Количество аккредитованных строительных лабораторий по областям Казахстана.

Также на территории Республики Казахстан действует 11 аккредитованных провайдеров проверки квалификации, но из них по строительным материалам и продукции всего лишь два – это провайдер проверки квалификации Астанинского филиала АО «Национальный центр экспертизы и сертификации» и Провайдер проверки квалификации НАО ВКТУ имени Д. Серикбаева.

Очень важным фактором в достижении высокого качества строительства является достоверность проводимых испытаний, в которых главную роль играет квалификация сотрудников, выполняющих работы. Для проверки квалификации испытателей проводят межлабораторные сравнительные испытания (межлабораторные сличения). Кроме этого, одним из условий для прохождения процедуры аккредитации, согласно ГОСТ ISO/IEC 17025 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий» и рабочей инструкции РИ 03-07.14, разработанной РГП «Национальный центр аккредитации», необходимо, чтобы лаборатории до первичной аккредитации имели как минимум одно удовлетворительное участие в проверке квалификации согласно заявляемой области аккредитации.

Проверка квалификации проводится в соответствии с правилами и процедурами Государственной системы технического регулирования Республики Казахстан, системы аккредитации Республики Казахстан, Законом РК «Об аккредитации в области оценки соответствия» и Законом РК «О техническом регулировании». Провайдеры проверки квалификации, должен быть аккредитован на соответствие требованиям

межгосударственного стандарта ISO/IEC 17043 «Оценка соответствия. Основные требования к проведению проверки квалификации» [1-4] и должна быть определена область деятельности или точнее области аккредитации, в рамках которой он компетентен [5-8]. Организация, которая несет ответственность за все задачи по разработке и выполнению программ сличительных испытаний с целью проверки квалификации испытательных лабораторий, аккредитовывается в системе аккредитации Республики Казахстан как провайдер проверки квалификаций (ППК).

Провайдер проверки квалификации должен иметь собственную испытательную базу для своей области исследований (испытаний) и измерений или возможность привлекать к подготовке и испытанию образцов субподрядчика, располагающего необходимой испытательной базой. Кроме этого, в штате ППК должны быть технический эксперт и компетентные специалисты в областях испытаний, в которых провайдер выполняет программы межлабораторных сличений. Провайдер проверки квалификации не должен иметь общих коммерческих, финансовых и административных интересов с лабораториями-участниками проверок для того, чтобы обеспечить независимость и беспристрастность при выполнении работ по межлабораторным сличениям [9-13].

Национальный центр аккредитации для испытательных лабораторий при повторной аккредитации требует исполнения ранее утвержденного пятилетнего стратегического плана участия в проверке квалификации, т.е. межлабораторных сличительных испытаниях. Аккредитованные лаборатории должны в период срока действия аттестата аккредитации участвовать в ПК/МЛС или других видах контроля качества в соответствии с заявленной областью аккредитации. Их работа при проведении таких испытаний, исследования, поверки, калибровки и инспекции должна соответствовать требованиям Национального центра аккредитации и ISO/IEC 17043 [14-18].

Таким образом, испытательные лаборатории в межаккредитационный период по всей продукции и по всем показателям своей области аккредитации должны провести сличительные испытания, т.е. от одного до десяти и даже более таких испытаний в год. Межлабораторные сличительные испытания, согласно требованиям, предъявляемым при аккредитации, должны проводиться с провайдером проверки квалификации не менее одного раза в год, а остальные сличения можно проводить с аккредитованными лабораториями или иными организациями [19]. Как раз здесь и возникает вопрос о выполнении расчетов для оценки квалификации. Если тур МЛСИ организывает провайдер, то он делает расчеты и выдает отчет, но если это сличение с такими же аккредитованными лабораториями, то расчеты приходится делать всем участникам самостоятельно.

Статистическая обработка результатов межлабораторных сличительных испытаний состоит в исключении грубых погрешностей, определение однородности выборки, расчет приписанного значения и его неопределенности, оценивание качества результатов измерений [20-25]. Для всех участников сличительных испытаний определенную сложность в расчетах представляет расчет приписанного значения и его неопределенности.

Методология

Основным нормативным документом в системе качества, лимитирующий определение приписного значения, является ISO 13528. На его основании национальные комитеты по стандартизации разработали свои нормативные документы: в Казахстане – СТ РК 13528, в России ГОСТ Р 13528, в Германии DIN 13528.

Согласно СТ РК ИСО 13528-2010 «Статистические методы для проверки квалификации методом межлабораторных сличений» имеется пять основных методов определения приписанного значения:

– Состав материала. Исследуемый материал подготавливается путем смешивания компонентов в определенных пропорциях. В этом случае приписанное значение получают и рассчитывают на основе полученных масс материалов.

– Сертифицированное эталонное значение. Если образцы контроля являются стандартными образцами, то его эталонное значение и используют в качестве приписанного.

– Эталонное значение. Приписанное значение исследуемого материала получают путем калибровки образцов контроля, согласно эталонного значения стандартного образца.

– Согласованное значение из экспертных лабораторий. Приписанное значение вычисляется как робастное среднее арифметическое результатов экспертных лабораторий.

– Согласованное значение от участников. Приписанное значение вычисляется как робастное среднее арифметическое результатов всех участников тура проверки квалификации.

Особенностью расчета приписанного значения для строительной области является наличие большого нормированного диапазона значений при испытании малого количества образцов контроля и малого количества участников тура проверки квалификации [26,27].

Для определения приписанного значения по последним двум схемам требуется вычисление робастного среднего арифметического результатов. Алгоритм расчета приведен на рисунке 2.

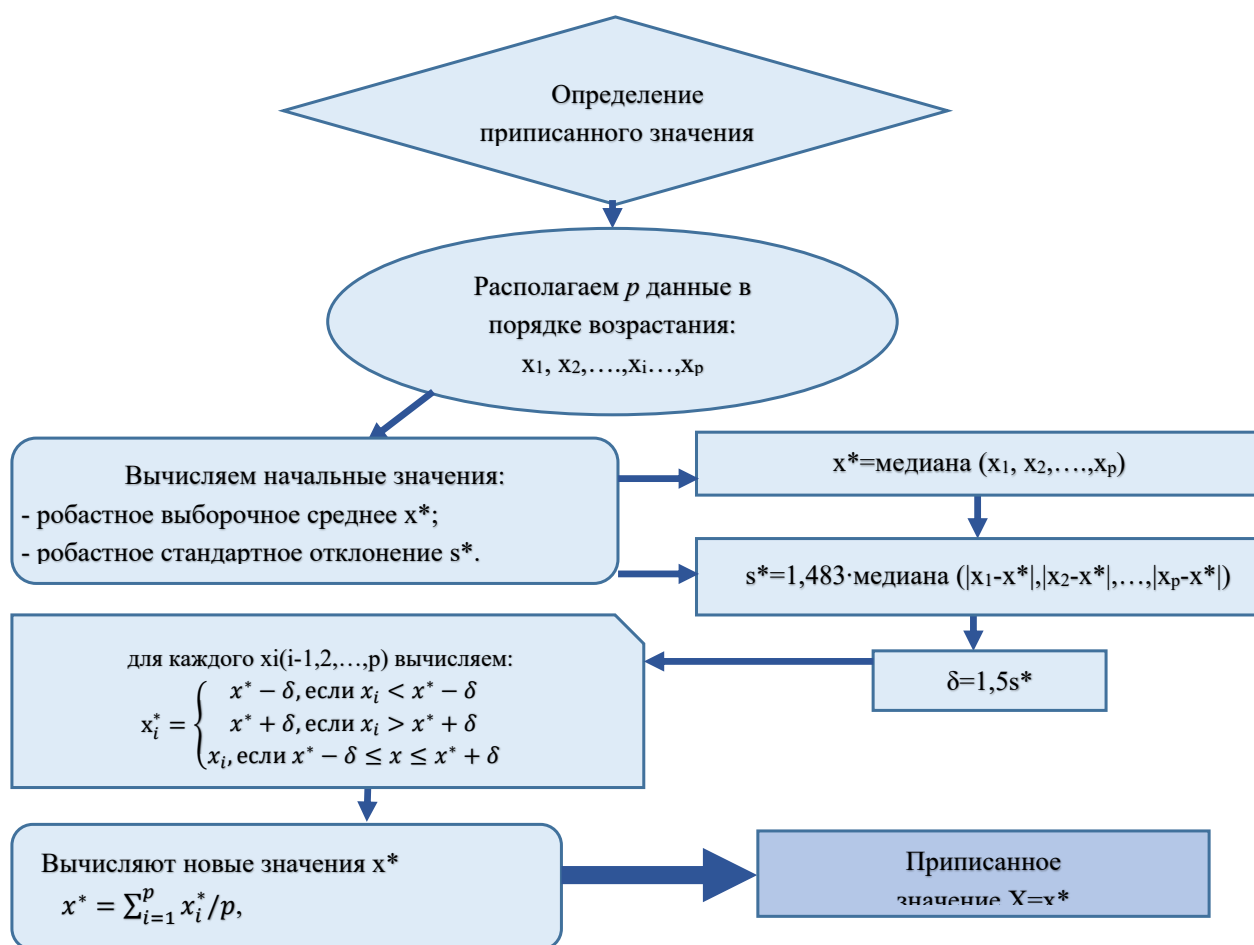


Рисунок 2. Алгоритм расчета робастного среднего арифметического результатов.

Результаты и обсуждение

Рассмотрим опыт определения приписанного значения на примере Провайдера проверки квалификации Восточно-Казахстанского технического университета им. Д.Серикбаева. Сводная таблица по рекомендуемым способам определения приписанного значения, необходимое количество образцов и сведения о возможности дальнейшего использования образцов для контроля приведены в таблице 2.

Таблица 2. Рекомендуемые способы определения приписанного значения

Наименование продукции	Наименование показателя	Способ определения приписанного значения	Необходимое количество образцов (проб) для определения приписанного значения	Сведения о пригодности образцов после проверки на однородность для распределения участникам
Смеси щебеночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов	Зерновой состав смеси	Состав материала	-	пригодны
	Содержание гравия	Состав материала	-	пригодны
	Содержание песка	Состав материала	-	пригодны
	Зерновой состав гравийной составляющей	Состав материала	-	пригодны
Наименование продукции	Наименование показателя	Способ определения приписанного значения	Необходимое количество образцов (проб) для определения приписанного значения	Сведения о пригодности образцов после проверки на однородность для распределения участникам
Смеси щебеночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов	Дробимость	Согласованное значение из экспертных лабораторий или Согласованное значение от участников	10 проб и более	не пригодны
	Зерновой состав песчаной составляющей	Состав материала	-	пригодны
	Модуль крупности песка	Состав материала	-	пригодны
Балласт гравийный и гравийно-песчаный для железнодорожного пути	Зерновой состав	Состав материала	-	пригодны

Бетоны тяжелые и мелкозернистые	Водопоглощение	Эталонное значение	1 проба	пригодны
	Прочность на сжатие	Согласованное значение из экспертных лабораторий или Согласованное значение от участников	10 проб и более	не пригодны
	Водонепроницаемость	Согласованное значение из экспертных лабораторий или Согласованное значение от участников	10 проб и более	не пригодны
	Истираемость	Согласованное значение из экспертных лабораторий или Согласованное значение от участников	10 проб и более	не пригодны
Наименование продукции	Наименование показателя	Способ определения приписанного значения	Необходимое количество образцов (проб) для определения приписанного значения	Сведения о пригодности образцов после проверки на однородность для распределения участникам
Бетоны ячеистые, блоки из ячеистых бетонов стеновые мелкие	Средняя плотность	Эталонное значение	1 проба	пригодны
	Теплопроводность	Эталонное значение	1 проба	пригодны
Сталь и прокат арматурные	Предел прочности (временное сопротивление разрыву)	Согласованное значение из экспертных лабораторий или Согласованное значение от участников	10 проб и более	не пригодны
Кирпич и камни керамические	Водопоглощение	Эталонное значение	1 проба	пригодны
	Средняя плотность	Эталонное значение	1 проба	пригодны

Смеси асфальтобетонные и асфальто-бетон, смеси черные щебеночно-гравийно-песчаные	Водонасыщение	Эталонное значение	1 проба	пригодны
	Предел прочности при сжатии при температуре 0° С	Согласованное значение из экспертных лабораторий или Согласованное значение от участников	10 проб и более	не пригодны
	Предел прочности при сжатии, МПа, при температуре 20° С	Согласованное значение из экспертных лабораторий или Согласованное значение от участников	10 проб и более	не пригодны
	Предел прочности при сжатии, МПа, при температуре 50° С	Согласованное значение из экспертных лабораторий или Согласованное значение от участников	10 проб и более	не пригодны
	Водостойкость	Согласованное значение из экспертных лабораторий или Согласованное значение от участников	10 проб и более	не пригодны
Грунты	Верхний предел пластичности (влажность на границе текучести), %	Согласованное значение из экспертных лабораторий или Согласованное значение от участников	10 проб и более	не пригодны
	Нижний предел пластичности (влажность на границе раскатывания)	Согласованное значение из экспертных лабораторий или Согласованное значение от участников	10 проб и более	не пригодны

Наименование продукции	Наименование показателя	Способ определения приписанного значения	Необходимое количество образцов (проб) для определения приписанного значения	Сведения о пригодности образцов после проверки на однородность для распределения участникам
Грунты	Насыпная плотность	Согласованное значение из экспертных лабораторий или Согласованное значение от участников	10 проб и более	не пригодны
	Плотность скелета (сухого грунта)	Согласованное значение из экспертных лабораторий или Согласованное значение от участников	10 проб и более	не пригодны
	Плотность частиц грунта пикнометрическим методом	Согласованное значение из экспертных лабораторий или Согласованное значение от участников	10 проб и более	не пригодны

Для определения приписанного значения в области физико-механических испытаний строительных материалов и продукции теоретически можно использовать все методы, но на практике это не так.

Определение приписанного значения методом "Состав материала" рационально для определения зерновых составов и содержания компонентов в сыпучих материалах, таких, как песок, щебень, песчано-гравийная смесь и т.д. В таких случаях для подготовки пробы берутся разные фракции в определенных пропорциях. Например, при приготовлении пробы для сличения для песчано-гравийной смеси берется 20% гравия и 80% песка. Такие пробы стабильные по результатам, и приписанное значение X для показателя "содержание гравия в смеси" будет равно 80%. Преимуществом этого метода является его независимость от числа участников сличения (количества испытаний), но ограничен перечень показателей, для которых его можно применить.

Определение приписанного значения методом "Сертифицированное эталонное значение" в подавляющем большинстве случаев для строительной отрасли не подходит, так как стандартными образцами не пользуются (не имеются).

Определение приписанного значения методом "Эталонное значение" можно применить для тех образцов и испытаний, после которых образцы сохраняют свои свойства, например, средняя плотность кирпича. За эталонное значение можно принять значение, которое получено в лаборатории провайдера (экспертной лаборатории), но с одной очень существенной оговоркой – проведение испытаний должно быть последовательным. Все лаборатории должны проводить определения средней плотности на одних и тех же образцах кирпича, но это приводит к увеличению времени проведения испытаний при большом количестве лабораторий-участников. Пример определения средней плотности кирпича приведен в таблице 3.

Таблица 3. Определение средней плотности кирпича

№ образца	Длина, мм		Ширина, мм		Высота, мм		Масса, кг	Плотность, кг/м ³	
	единичное измерение	среднее	единичное измерение	среднее	единичное измерение	среднее		образца	среднее
1	244,9		110,3		88,4	87,8	4390	1570	1527
	243,7		115,2		89,2				
	244,0		117,7		86,2				
	243,0		117,8		87,5				
2	247,9		117,2		89,8	89,0	4580	1510	
	246,2		116,8		88,2				
	247,9		118,4		90,0				
	246,8		118,7		88,1				
3	248,3		122,0		86,5	86,7	4620	1502	
	249,0		124,0		87,0				
	248,4		121,4		86,2				
			121,0		87,0				

Таким образом, приписанное значение в данном случае будет равняться среднему значению плотности, т.е. $X=1527 \text{ кг/м}^3$.

Определение приписанного значения методами "Согласованное значение из экспертных лабораторий" и "Согласованное значение от участников" идентичны по определению приписанного значения и зависят от количества участников (испытаний).

Если принимается метод "Согласованное значение из экспертных лабораторий" или метод "Согласованное значение от участников" при количестве участников r , тогда приписанное значение вычисляется по алгоритму, как робастное среднее арифметическое результатов экспертных лабораторий или лабораторий участников x . Пример расчета приписанного значения для арматурного проката при $r=10$ приведен в таблице 4.

Таблица 4. Расчет приписанного значения для проката арматурного

№	Значение x , МПа	Медиана x^* , МПа	$x-x^*$	Медиана $x-x^*$	Стандартное отклонение s^*	$\delta=1,5 s^*$	Граничное нижнее значение $x^*-\delta$, МПа	Граничное верхнее значение $x^*+\delta$, МПа	x_i^*	Новое значение x^* , МПа
1	585,19	593,06	6,70	2,36	3,49	5,24	586,65	597,13	586,65	592,50
2	592,21		0,32						592,21	
3	596,84		4,95						596,84	
4	591,57		0,32						591,57	
5	590,32		1,57						590,32	
6	601,77		9,88						597,13	
7	599,54		7,65						597,13	
8	593,01		1,12						593,01	
9	591,43		0,47						591,43	
10	588,75		3,14						588,75	

Новое значение x^* в данном случае является приписанным значением $X=592,5$ МПа.

Заключение

Таким образом, для проверки квалификации при проведении межлабораторных сличительных испытаний в области строительных материалов и продукции возможно применять следующие методы определения приписанного значения:

– метод "Состав материала" рекомендуется применять при определении приписанного значения для определения таких показателей, как зерновой состав или количественное содержание независимо от количества участников сличения;

– метод "Эталонное значение" возможно и целесообразно применить для тех испытаний, после которых образцы сохраняют свои свойства и при небольшом количестве участников (2-3 лаборатории);

– метод "Согласованное значение из экспертных лабораторий" в основном используют провайдеры проверки квалификации с привлечением экспертных лабораторий с количеством проб испытаний не менее 10;

– метод "Согласованное значение от участников" является наиболее универсальным и подходит для испытаний любой строительной продукции и при любом количестве участников сличения.

Работа выполнена в рамках программно-целевого финансирования BR21882278 «Создание строительного-технического инжинирингового центра по оказанию полного цикла

аккредитованных услуг строительного, дорожно-строительного сектора Республики Казахстан» при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Вклад авторов

Руденко О.В. – концепция, методология, анализ данных, написание текста, утверждение окончательной версии.

Аноп Д.К. – анализ данных, интерпретация результатов работы.

Лутай А.О. – сбор данных, расчетная часть, техническая редакция.

Сошников Н.В. – проведение экспериментов.

Шевляков В.Ф., Джексембаева А.Е. – редактирование, критический обзор содержания.

Список литературы

1. СТ РК 7.18-2015 Инспекционные проверки субъектов аккредитации.
2. СТ РК 7.19-2008 Система аккредитации Республики Казахстан. Аккредитация лабораторий. Область и диапазон аккредитации.
3. СТ РК ИСО 13528-2010 «Статистические методы для проверки квалификации методом межлабораторных сличений».
4. РМГ 43-2001 Государственная система обеспечения единства измерений. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений».
5. Закон Республики Казахстан от 30 декабря 2020 года № 396-VI «О техническом регулировании».
6. Закон Республики Казахстан от 7 июня 2000 года № 53-II «Об обеспечении единства измерений».
7. Закон Республики Казахстан от 5 июля 2008 года № 61-IV «Об аккредитации в области оценки соответствия».
8. ГОСТ ISO/IEC 17043-2013 «Оценка соответствия. Основные требования к проведению проверки квалификации».
9. СТ РК ISO 19011-2019 «Руководящие указания по аудиту систем менеджмента».
10. СТ РК ISO 9000-2017 Система менеджмента качества. Основные положения и словарь.
11. СТ РК ISO 9001-2016 Системы менеджмента качества. Требования.
12. СТ РК ИСО/МЭК 17000-2009 Оценка соответствия. Словарь и общие принципы.
13. СТ РК ИСО/ТО 10013-2008 Руководящие указания по документированию системы менеджмента качества.
14. СТ РК 1.9-2019 Национальная система стандартизации РК. Общие требования к применению международных, региональных стандартов и стандартов иностранных государств на территории Республики Казахстан.
16. СТ РК 3.10-2007 «Оценка соответствия. Жалобы и апелляции. Принципы и требования, порядок рассмотрения».
16. СТ РК 3.58-2005 Порядок обращения с образцами, используемыми при проведении подтверждения соответствия продукции.

17. СТ РК 7.15-2008 Знак аккредитации. Технические требования.

18. Чернышева Т.В., Чернышева Е.А. Оценка соответствия строительных материалов и изделий в современных рыночных условиях // Московский экономический журнал. – 2023. - №2. – С. 501-507.

19. Карташова А.В., Прокошина Н.Ю., Халиков М.Р. Межлабораторные сравнительные испытания — внешний контроль качества работы лаборатории // Контроль качества продукции. – 2018. - №9. – С.36-39.

20. Мухамеджанова О. Г., Сатлыкова Л. Р. Статистический анализ при проведении межлабораторных сличительных испытаний // Инженерно-строительный вестник Прикаспия / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. № 2 (40). С. 94–98.

21. Olga Mukhamedzhanova, Anastasia Borovkova Evaluation of the quality of measurements of the testing laboratory during interlaboratory comparative tests. E3S Web of Conferences 376, 01051 (2023). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337601051> / (дата обращения: 10.10.2024)

22. Cox, M., O'Hagan, A. Meaningful expression of uncertainty in measurement. Accred Qual Assur 27, 19–37 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00769-021-01485-5> / (дата обращения: 10.10.2024)

23. Lee, J.W., Hwang, E. & Kacker, R.N. True value, error, and measurement uncertainty: two views. Accred Qual Assur 27, 235–242 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00769-022-01508-9> / (дата обращения: 10.10.2024)

24. Tahir Munir, Xuelong Hu, Osmo Kauppila, Bjarne Bergquist. Effect of measurement uncertainty on combined quality control charts. Computers & Industrial Engineering 175 (2023) 108900 <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108900> / (дата обращения: 10.10.2024)

25. Black, K., Carson, P. & Jenkins, E. A comparison of proficiency testing evaluation criteria approaches for fitness-for-purpose. Accred Qual Assur (2024). <https://doi.org/10.1007/s00769-024-01590-1> / (дата обращения: 10.10.2024)

26. Milde, D., Klokočnicková, E. & Nižnanská, A. Practical guidance for organizing small interlaboratory comparisons. Accred Qual Assur 26, 17–22 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00769-021-01458-8> / (дата обращения: 10.10.2024)

27. Aronov, P.M. (2020). Estimation of Consensus Value of Interlaboratory Measurement Results Accompanied by a Minimum Increase in Associated Uncertainty. In: Medvedevskikh, S., Kremleva, O., Vasil'eva, I., Sobina, E. (eds) Reference Materials in Measurement and Technology. RMMТ 2018. Springer, Cham.

О.В. Руденко¹, Д.К. Аноп¹, А.О. Лутай*¹, Н.В. Сошников¹, В.Ф. Шевляков¹, А.Е. Джексембаева²

¹Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

²Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

Біліктілікті тексеру провайдері: құрылыс саласында тіркелген мәнді есептеу тәжірибесі

Аңдатпа. Аккредиттелген сынақ зертханалары құрылыс өнімі сапасының сәйкестігін растау кезінде сертификаттық сынақтарды ғана орындамайды, объектілерді салу кезінде сапаны ағымдағы бақылауға да қатысады. Алынған нәтижелердің дұрыстығына қол жеткізудегі маңызды фактор сынақ жүргізу кезінде зертхана қызметкерлерінің біліктілігі болып табылады.

Мақалада аккредиттелген зертханаларға және зертханааралық салыстыру сынақтары бойынша біліктілікті тексеру провайдеріне қойылатын талаптар қарастырылады. Біліктілікті тексеру кезінде зертханааралық салыстыру сынақтарын ұйымдастыру. Құрылыс саласының сынақ зертханаларының біліктілігін тексеру кезінде және біліктілікті тексеру провайдерінде белгіленген мәнді анықтау нұсқалары қарастырылды. Берілген мәнді анықтау үшін робастикалық орташа арифметикалық мәнді есептеу алгоритмі берілген. Өнімге және анықталға көрсеткіш, үлгілердің қажетті санына және оларды одан әрі пайдалану мүмкіндігіне байланысты белгіленген мәнді анықтаудың ұсынылған әдістері қарастырылады. Әр түрлі есептеу әдістері үшін берілген мәнді анықтау мысалдары келтірілген. Құрылыс саласы өнімдерінің сипаттамалары мен сынақтарының ерекшеліктерін ескере отырып, белгіленген мәнді анықтау әдісін таңдау бойынша ұсыныстар берілді. Әр түрлі есептеу әдістері үшін берілген мәнді анықтау мысалдары келтірілген. Құрылыс саласы өнімдерінің сипаттамалары мен сынақтарының ерекшеліктерін ескере отырып, белгіленген мәнді анықтау әдісін таңдау бойынша ұсыныстар берілді.

Түйін сөздер: зертханааралық сынақтар, біліктілікті тексеру, берілген мән, біліктілікті тексеру үлгісі, бақылау үлгісі, құрылыс өнімін сынау.

**O.V. Rudenko¹, D.K. Anop¹, A.O. Lutay*¹, N.V. Soshnikov¹, V.F. Shevlyakov¹,
A.Y. Jexembayeva²**

¹*D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan*

²*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

Provider of qualification verification: experience in calculating the attributed significance in the construction industry

Abstract. Accredited technical laboratories are responsible not only for conducting certification tests to ensure the quality of construction products, but also for participating in continuous quality control during facility construction. An important factor in ensuring the validity of results is the expertise of the ex-perts performing the tests. This article describes the requirements for accredited laboratories and providers of qualification verification for interlaboratory comparison tests. It also discusses the organization of these tests and the options for assigning values to construction industry testing laboratories and qualification verification providers. An algorithm for calculating the robust arithmetic mean to determine the assigned value is presented. Recommended methods for determining the assigned value are considered, depending on the product and the parameter being determined, as well as the number of samples required and the possibility for further use. Examples of determining the assigned value using different methods of calculation are provided. Recommendations are made on choosing the method for determining the assigned value based on the specific nature of tests and the characteristics of construction industry equipment.

Keywords: interlaboratory tests, verification providers, the assigned value, a sample of qualification verification, a sample of control, testing of construction output.

References

1. ST RK 7.18-2015 Inspektionnye proverki sub'ektov akkreditacii.
2. ST RK 7.19-2008 Sistema akkreditacii Respubliki Kazahstan. Akkreditaciya laboratorij. Oblast' i diapazon akkreditacii.
3. ST RK ISO 13528-2010 «Statisticheskie metody dlya proverki kvalifikacii metodom mezhlaboratornyh slichenij».
4. RMG 43-2001 Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmerenij. Primenenie «Rukovodstva po vyrazheniyu neopredelennosti izmerenij».
5. Zakon Respubliki Kazahstan ot 30 dekabrya 2020 goda № 396-VI «O tekhnicheskom regulirovanii».
6. Zakon Respubliki Kazahstan ot 7 iyunya 2000 goda № 53-II «Ob obespechenii edinstva izmerenij».
7. Zakon Respubliki Kazahstan ot 5 iyulya 2008 goda № 61-IV «Ob akkreditacii v oblasti ocenki sootvetstviya».
8. GOST ISO/IEC 17043-2013 «Ocenka sootvetstviya. Osnovnye trebovaniya k provedeniyu proverki kvalifikacii».
9. ST RK ISO 19011-2019 «Rukovodyashchie ukazaniya po auditu sistem menedzhmenta».
10. ST RK ISO 9000-2017 Sistema menedzhmenta kachestva. Osnovnye polozheniya i slovar'.
11. ST RK ISO 9001-2016 Sistemy menedzhmenta kachestva. Trebovaniya.
12. ST RK ISO/MEK 17000-2009 Ocenka sootvetstviya. Slovar' i obshchie principy.
13. ST RK ISO/TO 10013-2008 Rukovodyashchie ukazaniya po dokumentirovaniyu sistemy menedzhmenta kachestva.
14. ST RK 1.9-2019 Nacional'naya sistema standartizacii RK. Obshchie trebovaniya k primeneniyu mezhdunarodnyh, regional'nyh standartov i standartov inostrannyh gosudarstv na territorii Respubliki Kazahstan.
16. ST RK 3.10-2007 «Ocenka sootvetstviya. Zhaloby i apellyacii. Principy i trebovaniya, poryadok rassmotreniya».
16. ST RK 3.58-2005 Poryadok obrashcheniya s obrazcami, ispol'zuemye pri provedenii podtverzhdeniya sootvetstviya produkcii.
17. ST RK 7.15-2008 Znak akkreditacii. Tekhnicheskie trebovaniya.
18. Chernysheva T.V., Chernysheva E.A. Ocenka sootvetstviya stroitel'nyh materialov i izdelij v sovremennyh rynochnykh usloviyah // Moskovskij ekonomicheskij zhurnal. – 2023. - №2. – S. 501-507
19. Kartashova A.V., Prokoshina N.YU., Halikov M.R. Mezhlaboratornye sravnitel'nye ispytaniya — vneshnij kontrol' kachestva raboty laboratorii // Kontrol' kachestva produkcii. – 2018. - №9. – S.36-39
20. Muhamedzhanova O. G., Satlykova L. R. Statisticheskij analiz pri provedenii mezhlaboratornyh slichitel'nyh ispytanij // Inzhenerno-stroitel'nyj vestnik Prika-spiya / Astrahanskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet. Astrahan' : GAOU AO VO «AGASU», 2022. № 2 (40). S. 94–98.
21. Olga Mukhamedzhanova, Anastasia Borovkova Evaluation of the quality of measurements of the testing laboratory during interlaboratory comparative tests. E3S Web of Conferences 376, 01051 (2023). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337601051> / (data obrashcheniya: 10.10.2024)
22. Cox, M., O'Hagan, A. Meaningful expression of uncertainty in measurement. Accred Qual Assur 27, 19–37 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00769-021-01485-5> / (data obrashcheniya: 10.10.2024)
23. Lee, J.W., Hwang, E. & Kacker, R.N. True value, error, and measurement uncertainty: two views. Accred Qual Assur 27, 235–242 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00769-022-01508-9> / (data obrashcheniya: 10.10.2024)

24. Tahir Munir, Xuelong Hu, Osmo Kauppila, Bjarne Bergquist. Effect of measurement un-certainty on combined quality control charts. Computers & Industrial Engineering 175 (2023) 108900 <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108900> / (data obrashcheniya: 10.10.2024)

25 Black, K., Carson, P. & Jenkins, E. A comparison of proficiency testing evaluation criteria approaches for fitness-for-purpose. Accred Qual Assur (2024). <https://doi.org/10.1007/s00769-024-01590-1> / (data obrashcheniya: 10.10.2024)

26. Milde, D., Klokočnicková, E. & Nižnanská, A. Practical guidance for organizing small interlaboratory comparisons. Accred Qual Assur 26, 17–22 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00769-021-01458-8> / (data obrashcheniya: 10.10.2024)

27. Aronov, P.M. (2020). Estimation of Consensus Value of Interlaboratory Measurement Results Accompanied by a Minimum Increase in Associated Uncertainty. In: Medvedevskikh, S., Kremleva, O., Vasil'eva, I., Sobina, E. (eds) Reference Materials in Measurement and Technology. RMMT 2018. Springer, Cham.

Сведения об авторах:

О.В. Руденко – к.т.н., Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, улица Серикбаева, 19, Усть-Каменогорск, Казахстан, +7(777)3783973, O_Rudenko_vkqtu@mail.ru

Д.К. Аноп – к.т.н., Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, улица Серикбаева, 19, Усть-Каменогорск, Казахстан, +7(777)2873628, darjagalkina@mail.ru

А.О. Лутай – магистр технических наук, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, улица Серикбаева, 19, Усть-Каменогорск, Казахстан, +7(777)1555504, Lutay_ao@mail.ru

Н.В. Сошников – Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, улица Серикбаева, 19, Усть-Каменогорск, Казахстан, +7(777)2886225, NSoshnikov@edu.ektu.kz

В.Ф. Шевляков – к.т.н., доцент, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, улица Серикбаева, 19, Усть-Каменогорск, Казахстан, +7(705)2521865, shevlyakovvf08@mail.ru

А.Е. Джексембаева – PhD, директор департамента развития инноваций, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, улица Сатпаева, 2, Астана, Казахстан, +7(701)8882587, dzheksembayeva_ae@mail.ru

О.В. Руденко – техника ғылымдарының кандидаты, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Серікбаев көшесі 19, Өскемен қ., Қазақстан, +7(777)3783973, O_Rudenko_vkqtu@mail.ru

Д.К. Аноп – техника ғылымдарының кандидаты, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Серікбаев көшесі 19, Өскемен қ., Қазақстан, +7(777)2873628, darjagalkina@mail.ru

А.О. Лутай – техника ғылымдарының магистрі, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Серікбаев көшесі 19, Өскемен қ., Қазақстан, +7(777)1555504, Lutay_ao@mail.ru

Н.В. Сошников – Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Серікбаев көшесі 19, Өскемен қ., Қазақстан, +7(777)2886225, NSoshnikov@edu.ektu.kz

В.Ф. Шевляков – техника ғылымдарының кандидаты, доцент Жоғарғы аттестаттау комиссиясы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Серікбаев көшесі 19, Өскемен қ., Қазақстан, +7(705)2521865, shevlyakovvf08@mail.ru

А.Е. Джексембаева – PhD докторы, Инновацияларды дамыту департаментінің директоры, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университеті, Сәтбаев көшесі 2, Астана қ., Қазақстан, +7(701)8882587, dzheksembayeva_ae@mail.ru

O.V. Rudenko – Candidate of Technical Sciences, D. Serikbayev East Ka-zakhstan technical university, 19 Serikbayeva Str., Ust-Kamenogorsk, Kazakh-stan, +7(777)3783973, O_Rudenko_vkqtu@mail.ru

D.K. Anop – Candidate of Technical Sciences, D. Serikbayev East Kazakh-stan technical university, 19 Serikbayeva Str., Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, +7(777)2873628, darjagalkina@mail.ru

A.O. Lutay – Master of Technical Sciences, D. Serikbayev East Kazakh-stan technical university, 19 Serikbayeva Str., Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, +7(777)1555504, Lutay_ao@mail.ru

N.V. Soshnikov – D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, 19 Serikbayeva Str., Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, +7(777)2886225, NSoshnikov@edu.ektu.kz

V.F. Shevlyakov – Candidate of Technical Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, 19 Serikbayeva Str., Ust-Kamenogorsk, Ka-zakhstan, +7(705)2521865, shevlyakovvf08@mail.ru

A.Y. Jexembayeva – PhD, Director of the Innovation Development De-partment, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan, +7(701)8882587, dzheksembayeva_ae@mail.ru



Copyright: © 2024 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
Scientific article

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-149-4-326-350>

Designing a master degree program in building information modeling (BIM) using national professional standards: a case study in Kazakhstan

V.V. Yaskevich¹, B.U. Kuspangaliev¹, L.C. Tagliabue², T. Umar³

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

²University of Turin, Torino, Italy

³Department of Construction Project Management, University of the West of England, Bristol, UK

(E-mail: ¹*v.yaskevich@satbayev.university)

Abstract. This article presents the design of a master degree program focused on "Building Information Modeling (BIM) Technologies in Architecture, Engineering & Construction (AEC)" in Kazakhstan. The demand for such a program arises from the scarcity of qualified professionals proficient in BIM implementation, both in Kazakhstan and worldwide. The proposed method utilizes national professional standards as a reliable source of essential competencies. These professional standards aim to foster collaboration between higher education institutions, the government, and AEC companies. The design process incorporates various methods, including an indexation system to track each requirement from the standards throughout the program, multicriteria analysis for selecting appropriate competencies, and the implementation of a cognitive levels taxonomy to structure the program effectively.

Keywords: BIM-technologies; curriculum design; professional standards; multicriteria analysis; indexation system; Bloom's taxonomy.

Received 12.12.2024. Revised 18.11.2024. Accepted 20.11.2024. Available online 31.12.2024

¹*the corresponding author

Introduction

All professionals in the Architecture, Engineering & Construction (AEC) field wish for the ability to effortlessly manage routine processes, such as generating construction documentation. Over the past two decades, this dream has become a reality with the advent and advancement of Building Information Modeling (BIM) technology. BIM is a computer-aided design technology based on parametric modeling, shared data environments, 3D (and more) design, and other features. Not only does it facilitate the creation of affordable, energy-efficient, intelligent, and sustainable buildings, but it also propels forward the entire AEC process.

However, companies worldwide continue to face a shortage of BIM specialists. Many lack the necessary expertise or are unable to invest in staff training due to lengthy time requirements and high costs, particularly in countries that are in the early stages of BIM implementation, where the return on investment may not be immediately apparent. This shortage is even more pronounced among independent professionals seeking to acquire BIM skills on their own [1,2,3]

Becoming proficient in BIM requires a diverse range of skills and knowledge. As a result, educational institutions face a new challenge of preparing skilled BIM specialists. Existing literature suggests various approaches to train BIM specialists in the AEC field. These include work-based education [4] or specialized training services [5] offered by AEC companies, integrating BIM training as part of higher education courses [6,7] or separate online courses [8-11], capstone modules [12], or a systematic implementation of these approaches [13].

Despite these efforts, there remains a gap between the skills acquired through education and those in demand by industry practitioners. The complexity of BIM necessitates a vast amount of knowledge for its comprehensive understanding and implementation. While isolated success stories of individual courses or corporate training practices can be found in the literature [14], such approaches may soon prove insufficient as BIM technology continues to advance, and requirements evolve rapidly.

Therefore, universities play a critical role in addressing the need for BIM experts equipped to tackle the modern challenges of the AEC industry. Some universities in developed countries have already introduced postgraduate programs in this field (BIM A+, n.d.; Building Information Modelling (BIM) in Design Construction and Operations - MSc - UWE Bristol: Courses, n.d.) [15]. We hypothesize that universities in developing countries, such as Kazakhstan, also need to develop curricula that cater to local characteristics and institutional requirements, thereby accelerating BIM integration within the local sector. Recent research has demonstrated such cases in Kazakhstan and other countries [17,18,19].

Existing studies on BIM curriculum design propose several main methods [20]: (1) product model curricula, which analyze practical requirements of the field to allocate, classify, and prioritize competencies systematically; (2) technology model curricula, which leverage the latest advancements in the field [21, 22, 23]; and (3) process model curricula, which are based on real projects requiring flexible implementation of best practices to achieve their goals.

The first method involves complex mathematical analysis and extensive social surveys, as seen in Zhang et al., (2016) study [21]. This method is not always efficient due to the constant evolution of BIM technology, resulting in changing requirements year after year.

The second method may be suitable for international universities in developed countries that aim to prepare specialists capable of working in high-end global companies, adapting and advancing the best knowledge and skills. However, professionals often require a stronger focus on local characteristics and requirements than on cutting-edge technologies.

The third method eliminates the need for additional surveys and offers a practical orientation, but it is most effective when BIM technology is widely and regularly utilized, allowing students to actively participate in real-time BIM design processes.

The current state of BIM implementation in Kazakhstan presents certain challenges that render existing methods unsuitable. These challenges include the lack of governmental or private funding for extensive surveys aimed at creating new BIM curricula, the presence of a specific construction field with complex regulations and a conservative market, as well as the limited demand for BIM [24] and consequently, the scarcity of projects that could serve as a foundation for project-based courses [25]. Therefore, alternative methods needed to be explored.

Among the various publications on curriculum design across different disciplines, an approach based on professional standards has emerged [26]. Many countries develop professional standards through trusted public, political, and social instruments, which encompass up-to-date requirements for specific fields [27]. By utilizing these standards, the need for social surveys can be circumvented while maintaining a strong connection with local industry practices.

In this research, we examined Kazakhstan's professional standards and devised a method to interpret the listed BIM requirements into a multidisciplinary postgraduate program. This method incorporates multi-criteria analysis to extract the necessary competencies and leverages Bloom's taxonomy, applied to AEC workflow levels, to structure the program effectively. It is a relatively straightforward method that can be regularly employed to update and align the program with the evolving phases of BIM development. Furthermore, with minor modifications, this method can be adapted for use in other disciplines within Kazakhstan and in countries that utilize professional standards to develop market-oriented programs, thereby producing highly qualified professionals.

The methodology

Standard analysis and indexation system

The methodology employed in this study is based on the analysis of Kazakhstan's professional standards and the development of an indexation system. To provide a brief overview, the current professional standards in Kazakhstan were established by "Atameken," the National Chamber of Entrepreneurs of the Republic of Kazakhstan, in 2020 [28]. These standards cover approximately 30 fields, including "education," "services," "medicine," and more. Each field consists of various directions that represent specific types of professional activities. For instance, within the "Construction" field, which is the focus of this research, there are directions such as "Work on flooring and wall covering," "Earthwork," and "Insulation work." Each direction is associated with a professional standard, which may encompass several professions

of different qualification levels. These professions are described in "Profession Cards," and they are identified by unique identification numbers.

For this study, only the directions related to BIM at the first level of maturity were considered [29], namely "Architecture and urban planning" and "Development of construction projects." The master's program aims to train specialists at the 6th and 7th levels of qualification, according to the Kazakhstan national qualification framework. Consequently, only the relevant professions were analyzed. In the aforementioned standards, these professions include Architect, AEC Design Engineer (which is essentially an urban planning specialist), Landscape Architect, Automated Systems Specialist, Cost Engineer, Fire Alarm Engineer, Structural Engineer, and Senior Engineer. The requirements for these professions, as outlined in the professional standards, will be further reviewed in this article.

Combining multiple professions into a single curriculum presents challenges for both curriculum developers and prospective students. As Kazakhstan has embraced the Bologna Declaration [30], we believe it is crucial not only to provide a high-quality educational program but also to make it student-centered. Therefore, a method was devised to establish connections between the content of the standards and the educational program, enabling a clear understanding of the background of each discipline. To achieve this, we developed a reference tool that links each item of the standards throughout the curriculum design process. This tool serves as a reference for enrollees and students, illustrating the competencies they can acquire and which professions require specific competencies.

To create the reference tool, we analyzed the structure of the "Profession Cards" and assigned indications for each level. Figure 1 depicts the structure of the "Profession Cards," the principles of indicating specific items at each level, and examples of merging them into a comprehensive reference index (see Figure 1).

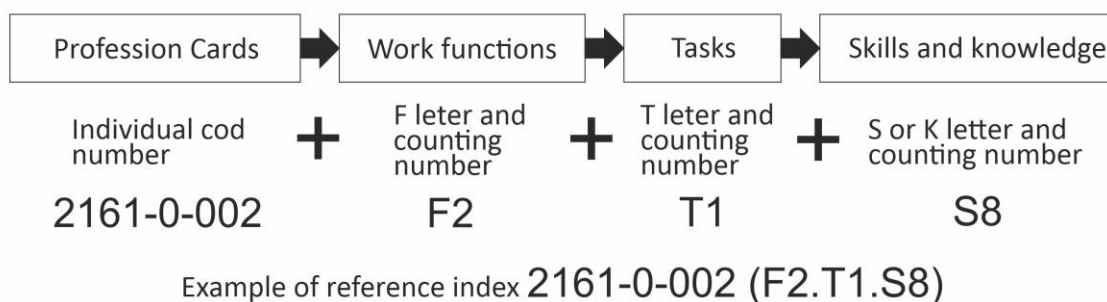


Figure 1. Structure of professional standard and reference index

The inclusion of such links can greatly enhance the transparency of the program creation method and provide several benefits for curriculum methodologists, pedagogues involved in program implementation, and students considering participation in the program.

By utilizing the indexation system, methodologists can easily update the program to accommodate changes in the original professional standards. Given the rapid development in various knowledge areas, including BIM technologies, it is likely that the professional standards will undergo regular revisions. In such cases, methodologists can simply trace the skills from

the program components to the content of the updated standards and make the necessary adjustments.

Pedagogues involved in designing the program content and teaching would benefit from understanding the ultimate objectives of each subject in the students' professional development and the contextual relevance of those objectives by familiarizing themselves with the corresponding parts of the standards. This understanding can significantly enhance the quality and effectiveness of the subjects and the overall program.

Students, on the other hand, would gain valuable information about the practical professional requirements associated with the skills they can acquire in each discipline, enabling them to make informed choices. This provision of evidential information can boost their confidence, motivation, and ultimately, their learning outcomes.

By incorporating these links between the program and the professional standards, the overall program design becomes more transparent, facilitating communication between stakeholders and improving the educational experience for all involved parties.

Classification of requirements

The subsequent step involves the classification of BIM-related requirements extracted from the selected profession cards. Given the significance of BIM, specific attention was given to requirements directly mentioning BIM (examples of such requirements are presented in Table 1). A total of 217 items were identified. Duplicate requirements were eliminated, while retaining the original indexes as a reference list appended to each corresponding requirement (Figure 2). These requirements will be categorized as either obligatory disciplines, if they include indexes from the majority of professions, or elective disciplines, if they encompass indexes from only a few professions. The resulting list comprises 126 unique requirements.

Notably, it is worth mentioning that out of the identified BIM requirements, 51 of them originate from the "Architect" professional card, which is significantly higher compared to other professions, indicating the prominence of BIM in the field of architecture.

Knowledge of the BIM regulatory and technical documents of the Republic of Kazakhstan in the development and implementation of projects using BIM. 2161-0-002 F1.T1.K8, 2161-0-002 F1.T2.K72, 2161-0-002 F1.T3.K5, 2161-0-002 F2.T1.K8, 2161-0-002 F2.T2.K5, 2161-0-002 F2.T3.K5, 2161-0-002 F3.T1.K11, 2161-0-002 F3.T2.K4, 2161-0-002 F3.T3.K2, 2161-0-002 F4.T1.K4, 2161-0-002 F4.T2.K6, 2161-0-002 F5.T1.K5, 2161-0-002 F5.T2.K5/2164-1-001 F1.T1.K9, 2164-1-001 F1.T2.K3, 2164-1-001 F3.T1.K7, 2164-1-001 F3.T2.K5, 2164-1-001 F3.T3.K3, 2164-1-001 F5.T1.K5, 2164-1-001 F5.T4.K3/2162-0-004 F2.T1.K6, 2162-0-004 F2.T2.K4, 2162-0-004 F2.T3.K3, 2162-0-004 F3.T1.K9, 2162-0-004 F3.T2.K3/2151-2-030 F1.T1.K8, 2151-2-030 F1.T2.K4, 2151-2-030 F2.T1.K4, 2151-2-030 F2.T2.K1/2149-5-003 F1.T1.K8, 2149-5-003 F2.T1.K3, 2149-5-003 F2.T3.K3, 2149-5-003 F3.T2.K3/2151-9-008 F1.T2.K4, 2151-9-008 F1.T4.K3/2144-1-003 F1.T2.K3, 2144-1-003 F1.T4.K2/1323-0-007 F1.T1.K4, 1323-0-007 F1.T2.K5, 1323-0-007 F2.T1.K3

Figure 2. Example of requirement with a list of indexes, matching the exact location of each mentioning.

We have considered these requirements as educational competencies, and their derivation from professional standards ensures the necessary correlation between competencies and the institutional context, which is crucial for designing competence-oriented curricula [31,32].

Professions at the 6th level and higher require practical experience and higher education, including bachelor and master's degrees, according to the national qualification framework [33]. This implies that individuals have three avenues to acquire each of the 126 competencies mentioned in the standard: through a bachelor's program, on-the-job education, or a master's program. Therefore, it is necessary to determine which of these 126 competencies can be effectively learned within the framework of a master's program.

The bachelor's program primarily focuses on providing foundational professional competencies and, in the context of Kazakhstan, may include only a brief course on BIM (such as "Basics of BIM technology" at Satbayev University). Additionally, the proposed master's program should also cater to specialists who graduated before any BIM competencies were included in bachelor's level programs. Consequently, the bachelor's program option was excluded from the analysis. The choice between practical experience and a master's program should be based on assessing the efficiency of acquiring specific competencies in each case.

The academic learning process is well-suited for acquiring substantial theoretical knowledge and general skills that can be applied in various professional contexts. On-the-job education allows individuals to learn specific actions and methods directly applicable to their current work environment without being detached from the workflow. Moreover, practical experience provides valuable opportunities for collaboration and communication with different specialists, clients, suppliers, and more. It also offers real-world tasks that extend beyond general competencies. While academic institutions can implement project-based learning, enterprises can organize courses or establish special education departments, these are individual cases and are not reflected in this work. Therefore, the criteria for differentiating professional standards requirements were defined as follows: potentially long duration of education, a significant volume of information, and general-purpose usage for academic learning; and enterprise-specific dependence, collaboration, communication, and real design process requirements for on-the-job education.

To compare the attachment of competencies, a multicriteria analysis was utilized. This method is widely adopted in various domains to make evidence-based decisions that consider multiple influencing factors [34,35,36]. The applicability of the criteria was evaluated using three grades: slight (-1), medium (0), and strong (+1). Each competence was assessed as belonging to either the master's program or on-the-job education based on the cumulative value of the criteria.

Table 1 illustrates the assessment of competencies using the formulated criteria, taking the first three BIM requirements from the 2161-0-002 profession card for architects as an example.

Table 1. Multicriteria analysis sample

Index of requirement	Differentiation criteria							
	Academic (master-program)				On-work education			
	long duration of education	big volume of information	transferable skills	Sum	based on enterprise specifics	multidisciplinary and communication-based abilities	real design process-based expertise	Sum
2161-0-002 T1.Z1.Um2*	0	0,5	1	1,5	1	0,5	1	2,5
2161-0-002 T1.Z1.Um3**	0	0,5	1	1,5	1	1	1	3
2161-0-002 T1.Z1.Um6***	1	1	1	3	0	1	0,5	1,5

2161-0-002 T1.Z1.Um2* – Determination of the tools and methods for collecting additional data necessary for the development of the architectural section of the project documentation or the Project Information Model (PIM) (when developing a project using BIM).

2161-0-002 T1.Z1.Um3** – Conducting field surveys to analyse the features of the construction site required for the development of the architectural section of the project documentation or the Project Information Model (PIM) (when developing a project using BIM).

2161-0-002 T1.Z1.Um6*** – Analysis of design, Construction and operation of similar capital construction projects or analysis of the Common Data Environment analogues to ensure the workflow process between the participants in the formation of the Project Information Model (PIM) (when developing a project using BIM).

The results of the assessment of all 126 competencies, as shown in Figure 3, enabled us to clearly categorize them as either "Academic" or "On-work" education. The competencies identified as "Academic" and those that obtained equal results were utilized to form the core disciplines of the BIM in the AEC master program.

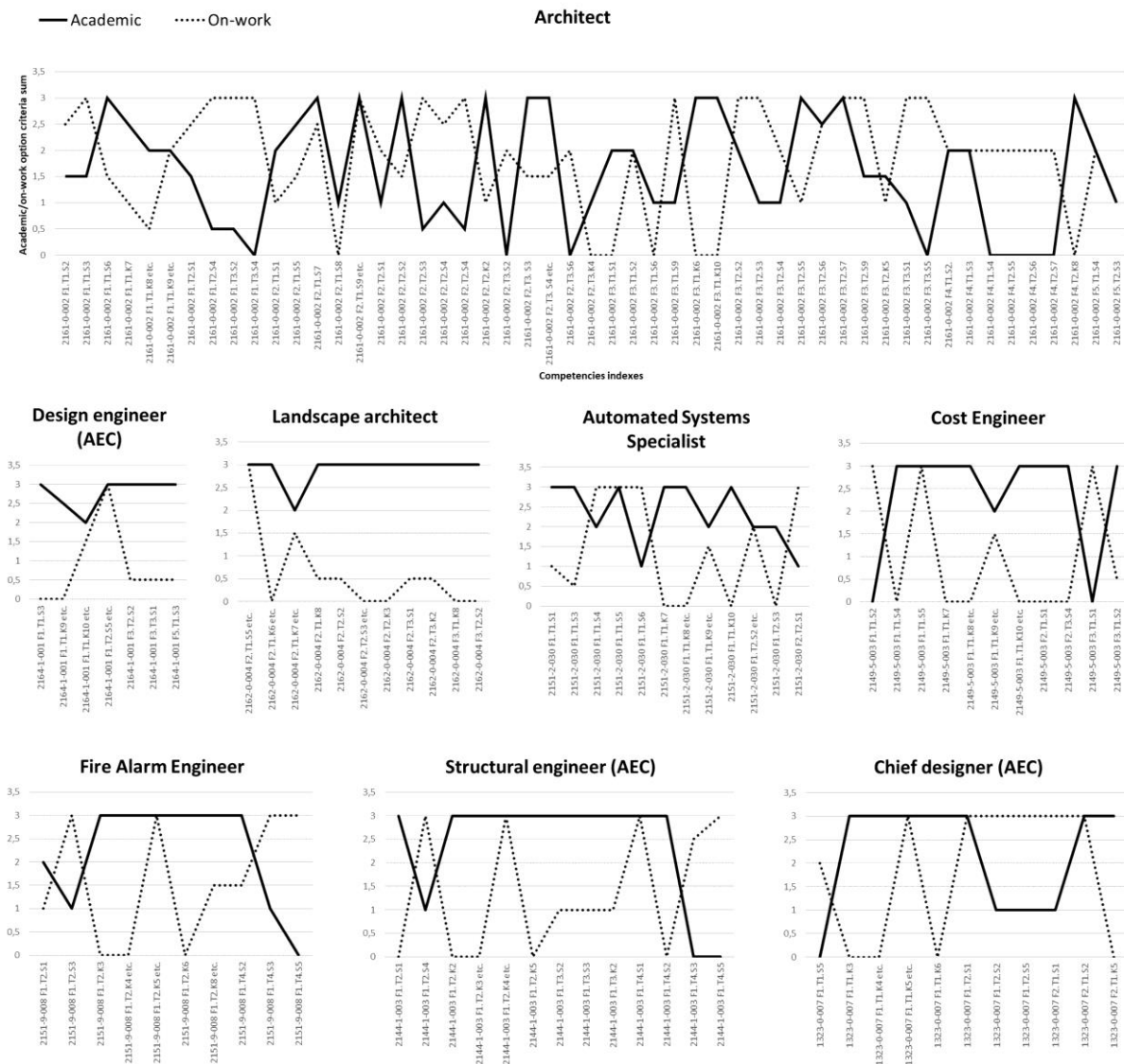


Figure 3. Results of multicriteria analysis for AEC professions requirements, presented in Kazakhstan professional standards. Solid line - Academic criteria sum, dotted line - On-work education criteria sum. Requirements presented with its individual indexes

A total of 68 competencies were categorized as "Academic," while 38 competencies were classified as "On-work" education. Additionally, 20 positions had an equal assessment result for both categories. Based on these findings, we selected 88 competencies to shape the disciplines within the BIM in the AEC master program.

From competencies to disciplines

The next step is to create disciplines based on the defined components. This process involves several challenges: grouping competencies into coherent and comprehensive content for each

discipline, determining the sequential order of disciplines, and assessing the volume of each discipline in terms of ECTS credits.

To guide the structure of the program and ensure a gradual increase in cognitive complexity, we utilized Revised Bloom's Taxonomy (2001) [37]. We adapted the taxonomy to the AEC field by mapping its six levels of cognitive learning to the types of activities commonly found in AEC [37-40]. This provided a logical framework for combining competencies into disciplines and establishing a sequential educational process (see Figure 4).

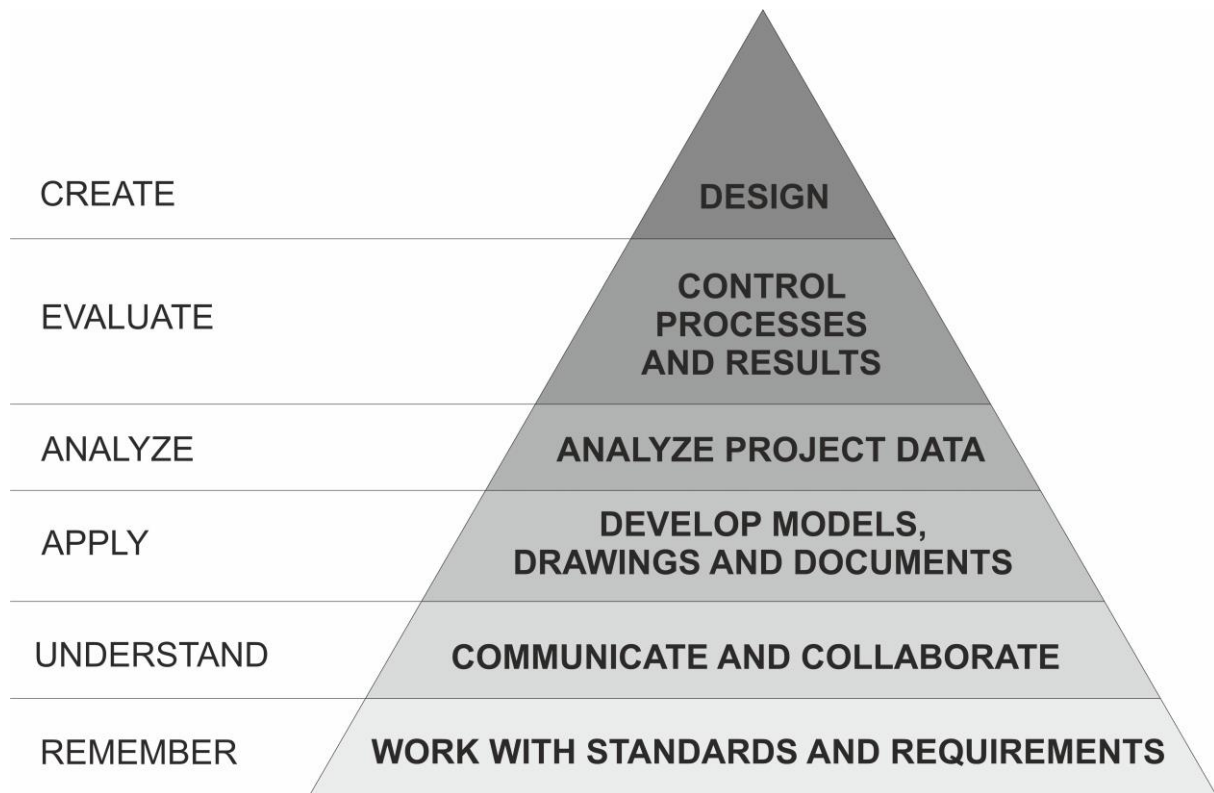


Figure 4. Revised Blooms taxonomy interpreted to the regular types of activities in AEC

In order to compare our findings with international experiences, we analyzed the structure of existing BIM programs. We reviewed programs such as Building Information Modelling and Digital Transformation (BIM-DT) MSc at the University of Liverpool, Building Information Modelling (BIM) in Design Construction and Operations at the University of the West of England, and European BIM A+ MSc. We aligned the components of these programs with the levels of cognitive learning in our proposed taxonomy (Table 2).

Table 2. Content of existing BIM programs through proposing taxonomy levels

Level of cognitive learning	The University of the West of England, Building Information Modelling (BIM) in Design Construction and Operations MSc	University of Liverpool, Building Information Modelling and Digital Transformation (BIM-DT) MSc	BIM A+ European Master Course
1. Theory, Standards and requirements	Construction Contract Law	Bim Theory, Practice and Tools	Management of information and collaboration in BIM
2. Communication and collaboration		Bim Implementation in Collaborative Environments Virtual Environments for Architecture	Advanced BIM data systems and interoperability
1. Developing BIM models and its' components	BIM in Operation and Maintenance BIM in Construction Operation	Parametric Design and Digital Fabrication 1,2 Innovative Technologies and Methods in Construction	Modelling in Architecture and Engineering Parametric Modelling in BIM
2. Project data analysis	Construction Project Management Practice	Research Methodology Bim-enabled Sustainability Thesis: Dissertation	BIM-based rehabilitation and sustainability analysis
3. Control processes and results	BIM in Design Co-ordination	Interoperability and Design Coordination With Bim	4D, 5D, 6D modelling and applications Thesis
4. Design	BIM in Business and Practice Low/Zero-Impact Buildings	Thesis: Research By Design	BIM Design

The volume of disciplines in the reviewed MSc programs ranged from 5 ECTS to 7.5 ECTS. Considering the existing relevant courses at Satbayev University's Architecture department, with a volume of 6 ECTS each, we took this as the base volume for new disciplines.

Groups of competencies organized by cognitive learning levels were divided into disciplines based on educational duration and the variety of professional indexes. Competencies with several professions' indexes were designated as obligatory and became part of obligatory courses, while competencies with single or few professions' indexes were included in elective courses.

The analysis of connections between competencies was visualized in a network diagram, illustrating the relationships and strengths of requirements. Architecture competencies played a central role in the network, and there were concentrated groups that could be considered as core

obligatory disciplines, such as National and Corporate Requirements, Project Management, Design Coordination, BIM Tools, Digital Survey, and Common Data Environment Management.

Manually creating the network of competencies for this research (Figure 5), we recognize the potential for automating this process using Natural Language Processing [41]. This technology could facilitate real-time synchronization between professional standards and educational program content.

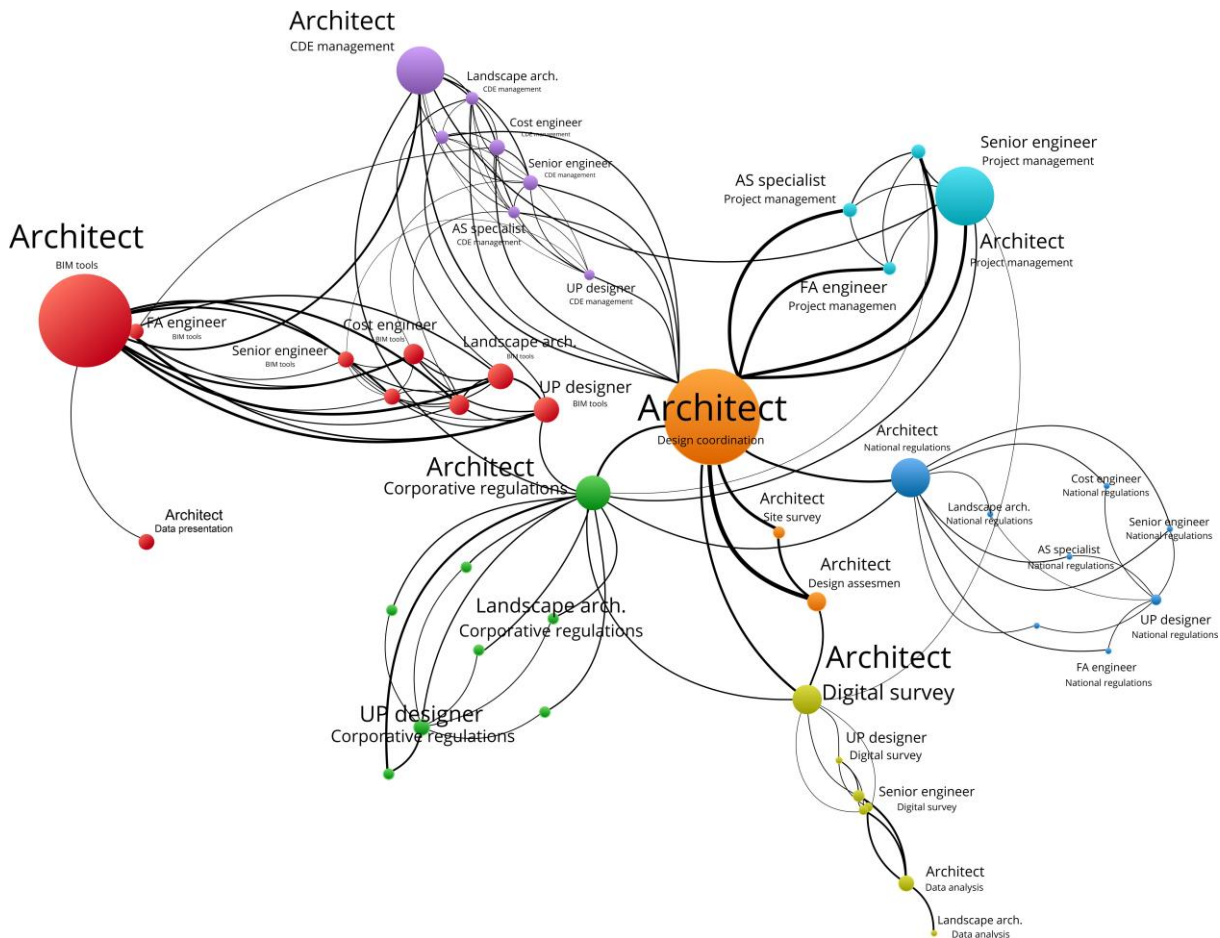


Figure 5. Network of AEC BIM competencies from Kazakhstan professional standards

As a result, we have compiled a list of disciplines that provide the necessary skills to use BIM in the construction and design field in Kazakhstan. Each discipline is accompanied by a description and a list of requirements from professional standards, along with their respective indexes. Higher education institutions can use this list to develop multidisciplinary programs for educating BIM specialists or incorporate these disciplines into existing programs to impart the necessary BIM competencies. (Table 3)

Table 3. Disciplines list

№	Discipline title	Obligate/ elective	Competencies	Professional standard indexes (first mention)
1	BIM regulatory and technical requirements	obligate	Basics of BIM theory and practice	2162-0-004 F3.T1.K8
			BIM national standards	2161-0-002 F1.T1.K8
			BIM corporate standards and their development	2161-0-002 F1.T1.K9
			Corporate BIM standard development practice	2151-2-030 F1.T2.S2
			BIM international standards and frontier practice	2162-0-004 F3.T1.K8
2	Collaboration in a shared data environment	obligate	Development of CDE	2151-2-030 F1.T1.S1
			CDE application in the design process	2161-0-002 F2.T1.S9
			Document management in CDE	2144-1-003 F1.T4.S1
3.1	BIM tools for architects	elective	BIM model preview	2161-0-002 F2.T1.S8
			Presentation of BIM project	2161-0-002 F2.T1.S5
			BIM software using skills	2161-0-002 F2.T3
			Automatisation in BIM design process – theory and practice	2161-0-002 F3.T1.K10
3.2	BIM tools for urbanists and landscape architects	elective	Forecasting design decisions outcomes using BIM tools	2164-1-001 F1.T1.S3
			Automatisation using BIM and GIS in the design process – theory and practice	2164-1-001 F3.T2.S2
			Data collecting, analysis and application	2162-0-004 F2.T1.K8
			BIM and GIS software using skills	2162-0-004 F2.T2.S3
3.3	BIM tools for engineers and constructors	elective	Modelling of structural and engineering elements in BIM	2144-1-003 F1.T2.SS1
3.4	BIM applications for Automated Systems Specialists	elective	Development of algorithms and applications	2151-2-030 F1.T1.S3
			Libraries, templates, classification systems development	2151-2-030 F1.T1.S5
4	Construction design documentation in BIM	obligate	Transfer from approved schematic design to construction documentation	2161-0-002 F3.T1.S2
			Determination of work volume and construction costs	2149-5-003 F2.T1.S1

			Development of detailed construction documentation	2144-1-003 F1.T4.S2
			Execution of data for construction documentation	2151-9-008 F1.T4.S2
5.1	Automated calculations of technical and economic indicators	elective	Techno-economic calculations for architectural design	2161-0-002 F3.T1.S6
			Basics of structural computations	2149-5-003 F2.T3.S4
5.2	Automated calculations of structures and engineering systems	elective	Advanced structural and engineering elements and systems computations	2144-1-003 F1.T3.S2
6.1	BIM and design data analysis	elective	Data collecting methods	2161-0-002 F1.T1.K7
			Analysis of predesign data	2161-0-002 F1.T1.S6
			Analysis of schematic design data	2161-0-002 F2.T1.S1
			Analysis of documentation and data flow	2161-0-002 F3.T1.S1
			Analysis of construction process data	2161-0-002 F4.T1.S2
			Using results of analysis for supporting design decisions	2161-0-002 F2.T3. S3
6.2	BIM and design process control	elective	Planning and control of all design process stages	2161-0-002 F5.T1.S4
			Prepare and control construction documentation assembly and quality	2161-0-002 F3.T2.S6
			Checking for errors collisions and unapproved changes	2161-0-002 F3.T2.S5
			Staff training	2161-0-002 F5.T2.S3
6.3	BIM Design (collaborative, project-oriented)	elective	Using BIM tools, methods, software and technologies in the design process	2164-1-001 F3.T3.S1

Curriculum design

Based on the structured and evidenced list of disciplines, we proceeded to design the curriculum. It's important to note that any program proposed by higher education institutions in Kazakhstan must adhere to educational program standards, which define requirements such as program duration, academic load volume, obligatory disciplines, and more. Satbayev University has developed its own templates in accordance with national and university requirements. For this curriculum, we have chosen the template for a one-and-a-half-year "professionally-oriented master program," which requires a minimum of 92 European Credit Transfer and Accumulation System (ECTS) credits, with 64 credits allocated to classroom activities.

The template includes two obligatory basic disciplines: foreign language (5 ECTS) and project management (3 ECTS). Additionally, there are two obligatory profile disciplines determined by the department (8 ECTS), an experimental research work component for master students (18

ECTS), a practical internship (10 ECTS), and the processing and defense of a Master's degree thesis (12 ECTS). The remaining six modules, totaling 36 ECTS, are dedicated to core courses that provide the necessary professional experience for master students.

As the list of disciplines obtained in the previous stage consists of six modules, it aligns perfectly with the template and serves as the core structure of the final program. The detailed curriculum will be presented in the results and discussions section, providing a comprehensive overview of the program's components and their respective ECTS credits.

Feedback from Kazakhstan's AEC companies

The final curriculum was sent to several companies that have already implemented BIM technology in Kazakhstan, including "KAZGOR," "KazNIISA," "BI-Group," "Bazis-A," and "Ink-Architects." The response from the companies was positive, and three of them provided recommendations and expressed their support. A live discussion was also held with representatives from KAZGOR.

KazNIISA, being a national company that initiates the development of BIM standards, supports and appreciates the program as an essential step in BIM development. They recommended changing the abbreviation "BIM" to "TIMSO" (Technology of Information Modeling of construction objects) in national BIM standards.

KAZGOR, on the other hand, supports the program as the first BIM-related program in Kazakhstan and emphasizes its high demand due to the shortage of BIM specialists in the AEC field. They recommended adding disciplines that cover the building life cycle's operational phase and incorporating new technologies such as augmented reality and 3D scanning as additional elective components. While these skills may not be immediately relevant in Kazakhstan, KAZGOR believes they will be crucial in the near future. They also discussed the possibility of adding a separate discipline on the basics of BIM for students who have no prior knowledge of it. Unlike KazNIISA, KAZGOR supports the use of the term "BIM" in the program's titles, as it is internationally recognized and considered more attractive.

The other companies provided positive feedback and expressed their support for the development of such a program. Overall, the responses and recommendations from the companies validate the significance of the program and its alignment with industry needs in Kazakhstan.

Findings/Discussion

The main result of the research is the method to convert requirements from professional standards in AEC to the master level curriculum – BIM in AEC, described in the Methodology section (see Fig. 6). We consider it as a first attempt to use professional standards as a direct basis for BIM educational programs. The most beneficial issue of this method is a synergy between governmental, practical and educational efforts that may cause a spiral development of all connected processes. Students and pedagogues will feel confident about objectiveness and demand of program content, AEC practice will receive specialists according to their request formulated in standards – on the one hand, graduates will fit necessary requirements. On the other hand, companies will feel responsible for their contribution to creating standards and pay more attention to them. Such synergy will help to move BIM development forward.

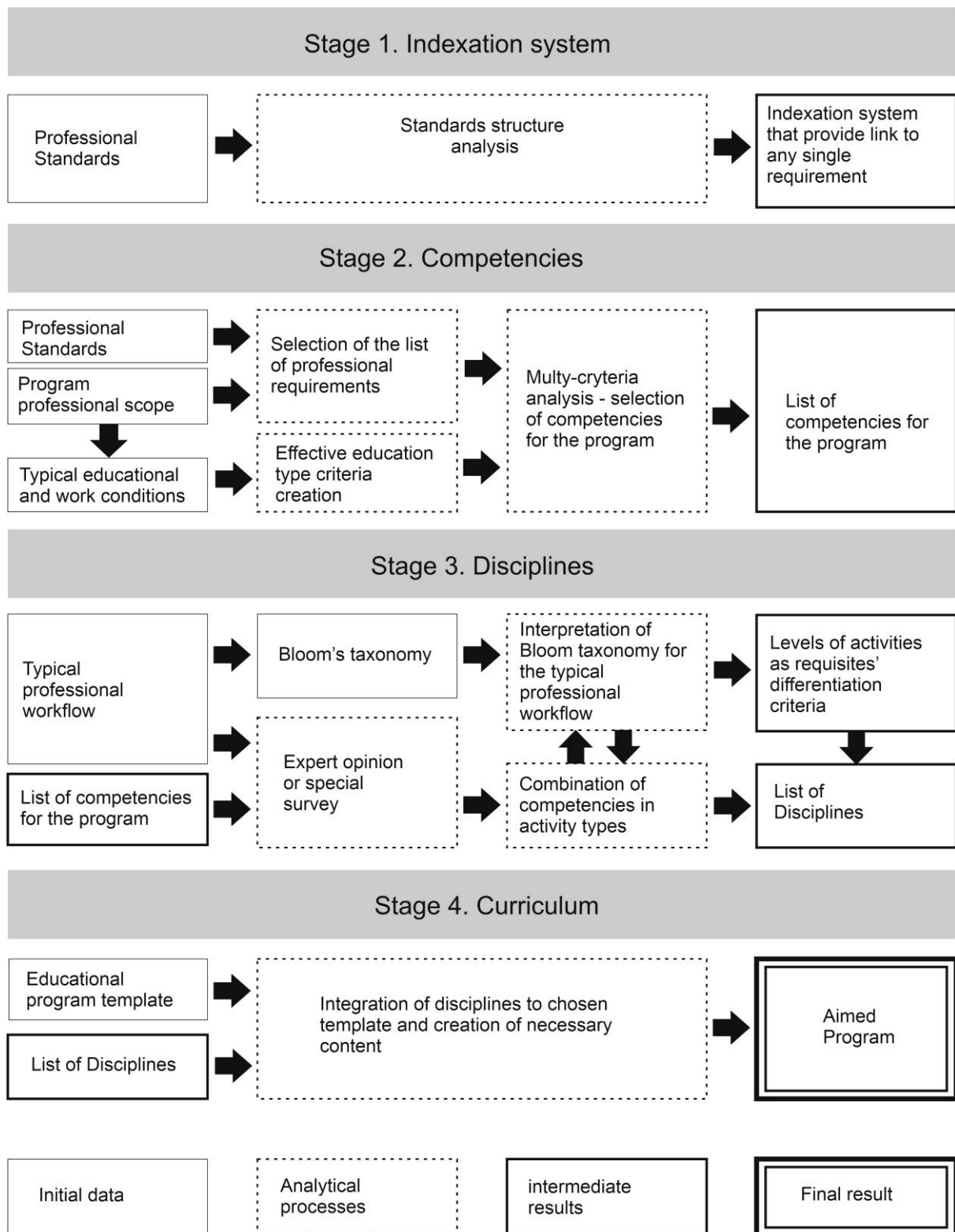


Figure 6. The scheme of the four steps method to convert professional standards in AEC requirements to the master level curriculum – BIM in AEC

Besides, the usage of standards allows avoiding long-term and complicated separate surveys aimed at determining the actual requirements of the field. Creating the curriculum involves several logical steps that can be realized in relatively short terms and do not require complex analysis. The availability of this method can be crucial for the regular updating and development of the program.

Initially, we used the described method in the case of the BIM master program. However, it has already been applied to design new practice-oriented master-level curriculums for Architecture and Urban Planning, Civil Engineering, and Engineering Systems and Networks. The only difference is that, due to the usage of the same professional standards, the first stage was omitted. It should be noted that faculty methodologists initially had difficulty accepting even this relatively straightforward method, indicating that more complex methods may be inefficient for widespread application.

The most critical issue with the standards-based method is the quality of professional standards. For example, in our survey, we found that the current standards lack requirements for engineering systems and networks specialists, who are a vital part of achieving high standards in BIM, particularly in AEC projects as a whole. However, if educational institutions use professional standards to develop curricula, it will uncover such shortcomings and help improve the standards and, consequently, the AEC field.

Another challenge is the lack of experts and low communication between departments in Kazakhstan's higher education institutions. Initially, the BIM in AEC master program was proposed for a wide range of professions, from architects to IT engineers, and implied a high level of collaboration during the courses. However, during discussions at the faculty level, it was decided to initially limit the implementation of the program to architects and construction engineers due to organizational issues and the incompleteness of standards. For example, to date, there are no experts in fire alarm systems or IT engineers with the necessary expertise among the faculty or staff of Satbayev University. However, recognizing these problems is the first step towards solving them. We look forward to overcoming these challenges in the future.

The second main result is the educational program "BIM-technologies in AEC." (Table 4) It is a master's degree program designed for Satbayev University to provide necessary competencies to architects and engineers, as well as new graduates from bachelor programs who want to work on BIM projects (36 ECTS credits). It also aligns with national and university standards for master students' analytical skills (30 ECTS credits) and management skills (18 ECTS credits). To develop general professional skills, two elective disciplines (12 ECTS credits) were added in the basic component, which can flexibly fit the requirements of a particular professional field (Table 5).

Table 4. Working curriculum for Educational program "BIM-technologies in AEC."

year of study	Code	Discipline title	Component	ECTS	Lc/lb/pr	Code	Discipline title	Component	ECTS	Lc/lb/pr
	1 semester					2 semester				
	LNG 201	Foreign language (professional)	BD HSC	5	0/0/5	1103	Elective	P.D. E.C.	6	2/0/4
1	MNG230	Project management (Management+ management psychology)	BD HSC	3	1/0/2	ARC 203	Construction design documentation in BIM	PD E.C.	6	4/0/2
	ARC 201	BIM regulatory and technical requirements	PD HSC	6	2/0/4	1204	Elective	P.D. E.C.	6	2/0/4
	ARC202	Collaboration in a shared data environment	PD HSC	6	0/0/6	1205	Elective	P.D. E.C.	6	2/0/4
	1101	Elective	B.D. E.C.	4	6/0/0	AAP 207	Experimental research work of a master student	ERW-MS	6	4/0/2
	1102	Elective	B.D. E.C.	4	0/0/6					
	AAP207	Experimental research work of a master student	ERW MS	6						
		Total:			34		Total:			30
	3 semester									
2	AAP207	Experimental research work of a master student	ERW MS	6						
	AAP208	Practical internship	P.I.	10						
	ECA 501	Processing and defence of Master degree thesis (PDMdT)	F.A.	12						
		Total:		28						
		Sum-total:		92						

Table 5. Elective disciplines catalogue for Educational program "BIM-technologies in AEC."

Basic Disciplines Elective components - 5 credits (R.K.)					
	Code	Discipline title	ECTS	Lc/lb/pr	semester
1101	BIM	The architecture of civil buildings – theory	4	4/0/0	1
	BIM	Project engineering – theory	4	4/0/0	
	BIM	Landscape architecture – theory	4	4/0/0	
	BIM	Automated Systems – theory	4	4/0/0	
	BIM	Cost engineering – theory	4	4/0/0	
	BIM	Fire Alarm engineering – theory	4	4/0/0	
	BIM	Structural design – theory	4	4/0/0	
1102	BIM	The architecture of civil buildings – practice	4	0/0/4	1
	BIM	Project engineering – practice	4	0/0/4	
	BIM	Landscape architecture – practice	4	0/0/4	
	BIM	Automated Systems – practice	4	0/0/4	
	BIM	Cost Engineering – practice	4	0/0/4	
	BIM	Fire Alarm Engineering – practice	4	0/0/4	
	BIM	Structural design – practice	4	0/0/4	
		Total	8		
Professional Disciplines Elective components - 5 credits (R.K.)					
	Code	Discipline title	Credits	Lc/lb/pr	semester
1103	BIM	BIM applications for architects	6	2/0/4	2
	BIM	BIM applications for urbanists and landscape architects	6	2/0/4	
	BIM	BIM applications for engineers and constructors	6	2/0/4	
1104	BIM	Automated calculations of technical and economic indicators	6	2/0/4	2
	BIM	Automated calculations of structures and engineering systems	6	2/0/4	
1205	BIM	BIM and design data analysis	6	2/0/4	2
	BIM	BIM and design process control	6	2/0/4	
	BIM	BIM Design (collaborative, project-oriented)	6	2/0/4	
		Total	18		

Table 6. Example of discipline description

Title of discipline	Collaboration in a shared data environment
Purpose and objectives of the course:	Explore and practice collaboration in a shared data environment

Brief description of the course:	The course is designed for all specializations. Based on Revit and One Drive cloud storage, students will learn and practice the principles of creating a shared data environment and the rules of collaboration in it.
Knowledge, ability, skills to complete the course:	
Knowledge:	Knowledge of tools and rules for collaboration in a shared data environment
Skills:	Application of the General Data Environment of the Project Information Model (PIM) (when developing and implementing a project using BIM). 2161-0-002 T2.Z1.Um9, 2161-0-002 T2.Z3.Um5, 2161-0-002 T3.Z1.Um8, 2161-0-002 T3.Z2.Um8, 2161-0-002 T3.Z3.Um4, 2161-0-002 T4.Z1.Um5 / 2164-1-001 T1.Z2.Um5, 2164-1-001 T3.Z1.Um4, 2164-1-001 T5.Z1.Um5 / 2162-0-004 T2.Z1.Um5, 2162-0-004 T2.Z2.Um4, 2162-0-004 T2.Z3.Um3, 2162-0-004 T3.Z1.Um7, 2162-0-004 T3.Z2.Um5) / 2149-5-003 T1.Z1.Um5
	The organisation of a common data environment (when implementing a project using BIM). 2151-2-030 T1.Z1.Um1
	Teamwork and the use of the Common Data Environment to support the workflow process between the participants in the design process (creating documents; monitoring decision approval; organising the storage and transfer of documents; prompt preparation of reports) and entering information about changes in any design decisions (indicating the reasons and responsible persons) (when implementing a project using BIM). 2144-1-003 T1.Z4.Um1 / 1323-0-007 T1.Z2.Um1

Additionally, the program may include a list of 38 requirements that were identified as "on-work" competencies through multicriteria analysis (Figure 3). These competencies are considered to be learned during internships and can be mastered in the short term without separating students from their workflow (Table 6).

The research also yielded secondary findings, including:

- An indexation system that establishes a transparent and student-oriented connection between the educational program and professional standards. The current indexes can be utilized in Kazakhstan, but the principle behind the system is universal and can be adapted to other national resources.
- The AEC interpretation of cognitive learning levels can aid in organizing a logical sequence within the AEC curriculum.
- A list of disciplines necessary to attain the required level of BIM competencies as mandated by state regulations for the 6th and 7th levels of qualification. This list can be integrated into existing courses offered by Kazakhstani universities or used to develop separate commercial training programs.

These secondary findings contribute to the overall understanding and development of BIM education and professional standards in the AEC field.

Conclusion

In conclusion, the successful implementation of BIM technology in the AEC industry relies on an effective education system that produces highly skilled professionals capable of meeting the evolving demands of the field. To achieve this, close collaboration between AEC companies, governments, and universities is crucial in formulating and sharing regulations, requirements, and frameworks. Professional standards can serve as a valuable instrument in establishing this connection.

This article proposes an appropriate and innovative method for creating and developing a BIM education curriculum, specifically in Kazakhstan and other countries with professional standards. It represents one of the initial steps taken by Kazakhstani higher education institutions to bridge the gap between government efforts in collecting factual information about institutional requirements (reflected in professional standards) and the development of an educational process.

The finalized BIM program encompasses all the necessary BIM competencies outlined by institutional requirements. It encourages universities to introduce new and highly demanded skills training, identify emerging professions, and facilitate collaborative development between departments and faculties. It is anticipated that the BIM in AEC program will be successfully launched the following year and contribute to the advancement of the AEC industry in Kazakhstan.

The described methodology can be applied to other professional fields and is particularly effective in rapidly developing areas such as biotechnology, information technology, robotics, and more. Furthermore, advancements in natural language processing allow for automatic analysis of standards and documents. This technology can be utilized to integrate standards and requirements data into BIM tools, as well as to automate the execution of the proposed methodology and synchronize programs with standards.

Ultimately, it is hoped that these findings will assist higher education methodologists in identifying optimal approaches to create and enhance curricula for BIM and other innovative technologies. The development of educational programs, in turn, will contribute to the advancement of technologies and related areas of human activity.

The contribution of the authors:

V.V. Yaskevich: Developed the research framework, defined methodologies and approaches, including the indexing system and multi-criteria analysis. Conducted all stages of the study, which encompassed examining professional standards, analyzing and processing competencies, creating the final program, and documenting all research algorithms. These tasks were performed under the guidance and with the support of the co-authors.

B.U. Kuspangaliyev: Proposed the research idea and provided overall supervision throughout the project.

L.C. Tagliabue: Contributed to the final stages of the study by providing recommendations on leveraging a network of competencies. Additionally, she conducted expert evaluations and adjustments to the research process and its outcomes.

T. Umar: Played a key role in preparing the article for publication by improving its structure and logical flow. He also contributed insights from the British experience with BIM technologies.

References

1. Ahmed, S., Hoque, I. Barriers to Implement Building Information Modeling (BIM) to Construction Industry: A Review // *Journal of System and Management Sciences*. 2018. Vol. 8, No. 1. P. 45–60.
2. Al-Hammadi, M. A., Tian, W. Challenges and Barriers of Building Information Modeling Adoption in the Saudi Arabian Construction Industry // *Open Construction and Building Technology Journal*. 2020. Vol. 14, No. 1. P. 98–110. DOI: 10.2174/1874836802014010098.
3. Liu, S., Xie, B., Tivendale, L., Liu, C. Critical Barriers to BIM Implementation in the AEC Industry // *International Journal of Marketing Studies*. 2015. Vol. 7. P. 162–171. DOI: 10.5539/ijms.v7n6p162.
4. Semaan, J., Underwood, J., Hyde, J. An Investigation of Work-Based Education and Training Needs for Effective BIM Adoption and Implementation: An Organisational Upskilling Model // *Applied Sciences (Switzerland)*. 2021. Vol. 11, No. 18. P. 1–19.
5. Tulubas Gokuc, Y., Arditi, D. Adoption of BIM in Architectural Design Firms // *Architectural Science Review*. 2017. Vol. 60, No. 6. P. 483–492. DOI: 10.1080/00038628.2017.1383228.
6. Leite, F., Brooks, G. Integrating an Architectural Engineering Undergraduate Program with Building Information Modeling // *Journal of Architectural Engineering*. 2020. Vol. 26, No. 2. P. 1–10. DOI: 10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000389.
7. Sacks, R., Barak, R. Teaching Building Information Modeling as an Integral Part of Freshman Year Civil Engineering Education // *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*. 2010. Vol. 136, No. 1. P. 30–38. DOI: 10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000003.
8. Rahman, R. A., Ayer, S. K., London, J. S. Applying Problem-Based Learning in a Building Information Modeling Course // *International Journal of Engineering Education*. 2019. Vol. 35, No. 3. P. 956–967.
9. Ahn, Y. H., Cho, C.-S., Lee, N. Building Information Modeling: Systematic Course Development for Undergraduate Construction Students // *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*. 2013. Vol. 139. P. 290–300. DOI: 10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000164.
10. Leite, F. Project-Based Learning in a Building Information Modeling for Construction Management Course // *Journal of Information Technology in Construction*. 2016. Vol. 21. P. 164–176.
11. Tsai, M.-H., Chen, K.-L., Chang, Y.-L. Development of a Project-Based Online Course for BIM Learning // *Sustainability*. 2019. Vol. 11, No. 20. P. 57–72. DOI: 10.3390/su11205772.
12. Zhang, J., Xie, H., Li, H. Project Based Learning with Implementation Planning for Student Engagement in BIM Classes // *International Journal of Engineering Education*. 2018. Vol. 35, No. 1. P. 310-322.
13. MCGOUGH, D., AHMED, A., AUSTIN, S. Integration of BIM in Higher Education: Case Study of the Adoption of BIM into Coventry University's Department of Civil Engineering, Architecture and Building // *Sustainable Building Conference 2013*. Coventry University, 2013. P. 394–403. DOI: 10.13140/2.1.1240.8642.
14. Wu, W., Issa, R. BIM Education for New Career Options: An Initial Investigation // *Proceedings of the 2013 BIM Academic Workshop*. 2013. P. 1–10. DOI: 10.13140/2.1.3570.2406.
15. BIM A+. Programme Structure and Content | BIM A+ European Master // BIM A+ [website]. [n.d.]. Retrieved March 21, 2021. Available at: <https://bimaplus.org/programme-structure/>.

16. Building Information Modelling (BIM) in Design Construction and Operations - MSc - UWE Bristol: Courses // UWE Bristol [website]. [n.d.]. Retrieved March 21, 2021. Available at: <https://courses.uwe.ac.uk/K2101/building-information-modelling-bim-in-design-construction-and-operations>.
17. Lee, J., Kim, B., Yonghan, A. H. N. Building Information Modeling (BIM) Technology Education for the Needs of Industry in Developing Countries // International Journal of Engineering Education. 2018. Vol. 35, No. 1. P. 126–141.
18. Babatunde, S. O., Ekundayo, D. Barriers to the Incorporation of BIM into Quantity Surveying Undergraduate Curriculum in the Nigerian Universities // Journal of Engineering, Design and Technology. 2019. Vol. 17, No. 3. P. 629–648. DOI: 10.1108/JEDT-10-2018-0181.
19. Abbas, A., Din, Z. U., Farooqui, R. Integration of BIM in Construction Management Education: An Overview of Pakistani Engineering Universities // Procedia Engineering. 2016. Vol. 145. P. 151–157. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.04.034.
20. Kordi, N. E., Zainuddin, N. I., Taruddin, N. F., Tengku Aziz, T. N. A., Abdul Malik, A. A Study on Integration of Building Information Modelling (BIM) in Civil Engineering Curricular // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 849. P. 1–9. DOI: 10.1088/1757-899X/849/1/012018.
21. Zhang, J., Schmidt, K., Li, H. BIM and Sustainability Education: Incorporating Instructional Needs into Curriculum Planning in CEM Programs Accredited by ACCE // Sustainability. 2016. Vol. 8. P. 525–557. DOI: 10.3390/su8060525.
22. Sacks, R., Pikas, E. Building Information Modeling Education for Construction Engineering and Management. I: Industry Requirements, State of the Art, and Gap Analysis // Journal of Construction Engineering and Management. 2013. Vol. 139, No. 11. P. 1–15. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000759.
23. Pikas, E., Sacks, R., Hazzan, O. Building Information Modeling Education for Construction Engineering and Management. II: Procedures and Implementation Case Study // Journal of Construction Engineering and Management. 2013. Vol. 139, No. 11. P. 1–20. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000765.
24. Tatygulov, A. A., Gizatulina, A. Sh., Zhamankulov, A. M. The Level of Development and Application of BIM Technologies in Companies in the Design and Survey Industry of the Republic of Kazakhstan // Bulletin of the National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan. 2020. No. 4(78). P. 100–106.
25. Akhanova, G., Nadeem, A. Current State of Building Information Modeling (BIM) and Total Building Commissioning and Study of Their Applicability in Kazakhstan // Proc. of the 33rd CIB W78 Conference. 2016. P. 1–10.
26. Grealish, L. Professional Standards in Curriculum Design: A Socio-Technical Analysis of Nursing Competency Standards // In Kennedy M., Billett S., Gherardi S., Grealish L. (Eds.), Practice-Based Learning in Higher Education: Jostling Cultures. Professional and Practice-Based Learning. Springer Netherlands, 2015. P. 85–98. DOI: 10.1007/978-94-017-9502-9_6.
27. Huang, J.-L., Chen, H.-C., Wang, C.-P., Hung, J.-C. Construction and Application of Teacher Professional Standards and Curriculum Baseline for Preservice Teacher Education // Journal of Research in Education Sciences. 2020. Vol. 65, No. 2. P. 1–35. DOI: 10.6209/JORIES.202006_65(2).0001.
28. NPP RK. Over 550 Professional Standards Will Be Developed in Kazakhstan by 2020. March 30, 2016. URL: <https://atameken.kz/en/news/22116-do-00-goda-v-kazahstane-budet-razrabotano-svyshe-0-professional-nyh-standartov> (дата обращения: 12.11.2024).
29. Walters A. 2011 BIM Working Group Strategy Paper. January 25, 2018. URL: <https://www.cdbb.cam.ac.uk/news/2011BIMStrategyPaper> (дата обращения: 12.11.2024).
30. European Higher Education Area and Bologna Process. URL: <http://www.ehea.info/page-ministerial-conference-Leuven-Louvain-la-Neuve-2009> (дата обращения: 12.11.2024).

31. Wilhelm S., Förster R., Zimmermann A. B. Implementing Competence Orientation: Towards Constructively Aligned Education for Sustainable Development in University-Level Teaching-And-Learning // Sustainability, 2019, vol. 11, no. 7, p. 1891. DOI: 10.3390/su11071891.
32. Hakky R. Improving Basic Design Courses through Competences of Tuning MEDA // Tuning Journal for Higher Education, 2016, vol. 4, no. 1, pp. 21–42. DOI: 10.18543/tjhe-4(1)-2016pp21-42.
33. On approval of the National Qualifications Framework. URL: https://www.ektu.kz/MONRK/Nat_RK.pdf (дата обращения: 12.11.2024).
34. Great Britain, Department for Communities and Local Government. Multi-Criteria Analysis: A Manual. Wetherby: Communities and Local Government, 2009. URL: <http://www.communities.gov.uk/documents/corporate/pdf/1132618.pdf> (дата обращения: 12.11.2024).
35. Ngeru J. Multi-Criteria Decision Analysis Framework in the Selection of an Enterprise Integration (EI) Approach That Best Satisfies Organizational Requirements. ProQuest LLC, 2012.
36. Erkan T.E., Rouyendegh B.D. Curriculum Change Parameters Determined by Multi Criteria Decision Making (MCDM) // Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2014, vol. 116, pp. 1744–1747. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.01.466.
37. Anderson L. W., Krathwohl D. R., Airasian P. W., Cruikshank K. A., Mayer R., Pintrich P. R., Raths J., Wittrock M. C. A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives. Longman, 2001.
38. Hughes W., Murdoch J. R. Roles in Construction Projects: Analysis and Terminology. Birmingham: Construction Industry Publications, 2001. URL: <https://centaur.reading.ac.uk/4307/> (дата обращения: 12.11.2024).
39. Sharunova A., Butt M., Qureshi A. J. Transdisciplinary Design Education for Engineering Undergraduates: Mapping of Bloom's Taxonomy Cognitive Domain Across Design Stages // Procedia CIRP, 2018, vol. 70, pp. 313–318. DOI: 10.1016/j.procir.2018.02.042.
40. Hjelseth E. BIM Understanding and Activities // WIT Transactions on the Built Environment, 2017, pp. 3–14. DOI: 10.2495/BIM170011.
41. Di Giuda G., Locatelli M., Schievano M., Pellegrini L., Pattini G., Giana P., Seghezzi E. Natural Language Processing for Information and Project Management // Proc. of the International Structural Engineering and Construction. 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-33570-0_9.

В.В. Яскевич¹, Б.У. Куспанғалиев¹, Л.К. Тальябюэ², Т. Умар³

¹Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті (Satbayev University), Алматы, Қазақстан

²Турин университеті, Турин, Италия

³Батыс Англия университеті, Бристоль, Ұлыбритания

Қазақстанда ұлттық кәсіби стандарттар негізінде құрылыс ақпараттық үлгілеу (bim) бойынша магистратура бағдарламасын жобалау: зерттеу жағдайы

Аңдатпа. Бұл мақалада Қазақстанда «Сәулет, құрылыс және инженерия (АЕС) саласындағы ақпараттық модельдеу (BIM) технологиялары» бойынша магистратура бағдарламасын жобалау ұсынылады. Мұндай бағдарламаның қажеттілігі BIM енгізу бойынша білікті мамандардың жетіспеушілігімен байланысты, бұл тек Қазақстанда ғана емес, бүкіл әлемде байқалады.

Ұсынылған әдіс негізгі құзыреттерді анықтау үшін ұлттық кәсіби стандарттарды сенімді дереккөз ретінде пайдаланады. Бұл кәсіби стандарттар жоғары оқу орындары, үкімет және АЕС компаниялары арасындағы ынтымақтастықты дамытуға бағытталған. Бағдарламаны жобалау процесінде әртүрлі әдістер қолданылады, соның ішінде талаптарды бағдарлама аясында қадағалау үшін индексация жүйесі, құзыреттерді таңдауда көпкритерийлі талдау, сондай-ақ бағдарламаны тиімді құрылымдау үшін когнитивтік деңгейлер таксономиясы қолданылады.

Түйінді сөздер: BIM-технологиялар; оқу жоспарын құру; кәсіби стандарттар; көпкритерийлі талдау; индексация жүйесі; Блум таксономиясы

В.В. Яскевич¹, Б.У. Куспанғалиев¹, Л.К. Тальябюэ², Т. Умар³

¹*Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева (Satbayev University), Алматы, Казахстан*

²*Университет Турина, Турин, Италия*

³*Университет Западной Англии, Бристоль, Великобритания*

Разработка магистерской программы по информационному моделированию зданий (bim) с использованием национальных профессиональных стандартов: казахстанский пример

Аннотация. В данной статье представлена разработка магистерской программы по теме «Технологии информационного моделирования зданий (BIM) в архитектуре, инженерии и строительстве (АЕС)» в Казахстане. Необходимость такой программы обусловлена нехваткой квалифицированных специалистов, владеющих внедрением BIM, как в Казахстане, так и во всем мире. Предложенный метод использует национальные профессиональные стандарты как надежный источник необходимых компетенций. Эти профессиональные стандарты направлены на укрепление сотрудничества между вузами, правительством и компаниями АЕС. Процесс разработки включает использование различных методов, таких как система индексации для отслеживания требований стандартов в программе, многокритериальный анализ для выбора подходящих компетенций, а также применение таксономии когнитивных уровней для эффективной структуры программы.

Ключевые слова: BIM-технологии; разработка учебных программ; профессиональные стандарты; многокритериальный анализ; система индексации; таксономия Блума

Information about the authors:

V.V. Yaskevich: PhD candidate, Senior Lecturer of the Architecture Department of the Kazakh National Research Technical University, named after K.I. Satpayev (Satbayev University), (050013, Kazakhstan, Almaty, Satpayev 22/2), v.yaskevich@satbayev.university

B.U. Kuspangaliyev: Doctor of Architecture, Professor of the Architecture Department, director of the Institute of Architecture and Civil Engineering Institute named after T.K. Bassenov of the Kazakh National Research Technical University, named after K.I. Satpayev (Satbayev University), (050013, Kazakhstan, Almaty, Satpayev 22/2), b.kuspangaliyev@satbayev.university

L.C. Tagliabue: PhD, Associate Professor, Department of Computer Science, University of Turin (Corso Svizzera 185, 10149, Torino, Italy), laviniachiara.tagliabue@unito.it

T. Umar: PhD, Senior Lecturer in Construction Project Management, University of the West of England, UK. tariq.umar@uwe.ac.uk

В.В. Яскевич: PhD докторанты, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университетінің (Satbayev University) сәулет кафедрасының аға оқытушысы (050013, Қазақстан, Алматы, Сәтбаев көшесі 22/2), v.yaskevich@satbayev.university

Б.У. Куспанғалиев: Сәулет докторы, профессор, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университетінің Т.К. Басенов атындағы сәулет және құрылыс институтының директоры (050013, Қазақстан, Алматы, Сәтбаев көшесі 22/2), b.kuspangaliyev@satbayev.university

Л.К. Тальябюэ: PhD, доцент, Турин университетінің компьютерлік ғылымдар кафедрасы (Corso Svizzera 185, 10149, Турин, Италия), laviniachiara.tagliabue@unito.it

T. Umar: PhD, құрылыс жобаларын басқару кафедрасының аға оқытушысы, Батыс Англия университеті, Ұлыбритания. tariq.umar@uwe.ac.uk

В.В. Яскевич: кандидат PhD, старший преподаватель кафедры архитектуры Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева (Satbayev University) (050013, Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева 22/2), v.yaskevich@satbayev.university

Б.У. Куспанғалиев: доктор архитектуры, профессор кафедры архитектуры, директор Института архитектуры и гражданского строительства имени Т.К. Басенова Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева (Satbayev University) (050013, Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева 22/2), b.kuspangaliyev@satbayev.university

Л.К. Тальябюэ: кандидат PhD, доцент кафедры компьютерных наук Туринского университета (Corso Svizzera 185, 10149, Турин, Италия), laviniachiara.tagliabue@unito.it

T. Umar: кандидат PhD, старший преподаватель кафедры управления строительными проектами, Университет Западной Англии, Великобритания. tariq.umar@uwe.ac.uk



Copyright: © 2024 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/10.32523/2616-7263-2024-149-4-351-362>

Риски тривиальности архитектуры современных жилых комплексов (на примере г. Астаны)

Г.А. Карабаев^{*1}, С.Э. Мамедов²

¹Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, Астана, Казахстан

(E-mail: ¹karabaew88@mail.ru)

Аннотация. В последние десятилетия в Казахстане наблюдается активное строительство новых жилых зданий. Возводимые объекты имеют различную игру объемов и форм. Девелоперская деятельность диктует современные тренды в области архитектурно-планировочного решения строений. Но не все тренды являются положительными. Целью статьи является анализ рисков возникновения тенденции тривиальности в современной архитектуре Казахстана, в частности, возникновения тенденции упрощения объемно-пространственного решения зданий, а также влияние девелопера на развитие тривиальности архитектуры в целом.

К выше сказанному, исследование отражает условия и факторы, влияющие на возникновение простых блочных форм в объеме строения современной архитектуры Казахстана. Исследование основана на анализе возникновения тривиальности в архитектуре СССР в середине XX века, на натурном исследовании современной архитектуры жилых строений города Астаны и моделировании формообразования объемного решения жилых комплексов. Результаты показывают, что процесс возникновения тривиальности в архитектуре зданий обуславливается следующими факторами: девелоперской деятельностью, агрессивным маркетингом и экономическими условиями.

Ключевые слова: архитектура, объемно-пространственное решение, тривиальность, типовое проектирование, архитектурно-планировочный.

Поступила 01.11.2024. Доработана 08.11.2024. Одобрена 12.12.2024. Доступна онлайн 31.12.2024

¹*автор корреспонденции

Введение

На современном этапе архитектура жилых зданий отражает суть времени, сочетая эстетику и инновации, использование новых материалов и технологий, акцент на экологию и устойчивое развитие. В XXI веке жилые здания проектируются с уклоном на комфорт и эффективное использование пространства как внутри строения, так и за его пределами. Но за многочисленными плюсами имеются и минусы.

Одним из отрицательных явлений современной архитектуры Казахстана является маркетинговая интеграция. Известное выражение «раньше инженеры для людей, а сейчас маркетологи для потребителей» полностью описывает сложившуюся ситуацию в современном мире. К сожалению, данная тенденция может привести к тривиальности современной архитектуры.

Тривиальность архитектуры – это новое явление современного зодчества. С позиции экономики оно является плюсом, но с точки зрения искусства оно имеет отрицательный эффект.

Тривиальность может привести к таким отрицательным тенденциям, как;

- однообразие архитектурного облика строения. В погоне за экономией застройщики стремятся использовать проекты, разработанные по шаблонам. В большинстве случаев такие проекты имеют упрощённую архитектуру, особенно отсутствие игры форм и объёмов. В результате это приводит к потере индивидуальности здания или жилых групп в целом;

- потеря изыска в функциональности строения. Известно, что в современных жилых комплексах основной упор делается на упрощение пространства, что впоследствии приводит к невыразительности экстерьера здания. Конечно, основная задача таких строений – это обеспечить жильём население, но нельзя забывать, что каждое здание должно иметь уникальное объёмно-пространственное решение;

- шаблонный эффект. Данная тенденция приводит к использованию общепринятых архитектурно-планировочных решений, в основном применение упрощённых проектов. Следовательно, наблюдается повторяемость и обыденность проекта.

Не исключено, что тривиальность архитектуры может быть следствием множества и других факторов, таких, как, экономические ограничения, стандартизация, ограниченность нормативно-регламентирующими документами, недостаток креативности и т.д. Однако современные тренды в архитектуре стремятся преодолеть эти проблемы, предлагая разнообразные и адаптированные решения к различным условиям.

Методология

Архитектура, как и любая отрасль человечества, имеет периоды взлёта и падения, период стагнации и развития. Одним из больших периодов тривиальности архитектуры наблюдалось во второй половине XX века. В частности, в странах СССР после окончания Великой Отечественной войны. В этот период в союзных республиках проводилась полномасштабная работа по обеспечению граждан собственным жильём. Соответственно, игра объёмом в архитектуре отошла на последний план.

К концу XX века наблюдается противоположная тенденция – резкое развитие архитектуры в целом. На современном этапе происходит малозаметная стагнация архитектуры с элементами тривиальности. Учитывая выше сказанное, возникает соответствующий вопрос: каковы же долгосрочные последствия для современной архитектуры Казахстана тенденции тривиальности?

Гипотезу данного исследования можно сформулировать следующим образом: «Агрессивная интеграция маркетинга формирует тривиальность современной архитектуры Казахстана».

Ключевыми методами исследования являются:

– *сравнительный анализ*. Сравнение существенных элементов архитектуры капитальных строений. Выявление общих черт и различий в архитектурно-планировочном решении зданий и сооружений. Выявление основных закономерностей в объемно-пространственной композиции строений;

– *метод моделирования*. Анализ и изучение объектов и его архитектуры посредством профессиональных графических программ (Autodesk 3D max, AutoCAD, Revit, SketchUp и др.). Воссоздание трехмерной модели изучаемого объекта;

– *натурное исследование*. Натурное инструментальное (детальное) обследование и сбор данных (фотосъемка) о фактическом состоянии жилых зданий.

Результаты и Обсуждение

Архитектура должна иметь индивидуальность, разнообразие и уникальность форм. Это подтверждалось каждой эпохой человечества. Но на современном этапе капиталистический уклад мира диктует совсем другие ценности, которые коснулись и искусства архитектуры.

Экономия на всех этапах проектно-строительного процесса приводит к сильному упрощению облика будущего строения. Возвращаясь к периоду архитектуры СССР середины XX века, нельзя обойти стороной Постановление «Об устранении излишества в проектировании и строительстве» ЦК КПСС и СМ СССР от 4 ноября 1955 года под номером №1871 [1]. Именно этот документ стал сильнейшим «триггером» тривиальности архитектуры Советского Союза.

Ключевыми факторами для принятия данного Постановления стали:

– широкое распространение внешне-показной стороны архитектуры в работах многих проектных организаций и состоявшихся архитекторов, которые изобиловали большим количеством излишества. Это было отмечено Центральным Комитетом КПСС и Советом Министров СССР;

– увлеченность показной стороной строения. Многие архитекторы занимались главным образом украшением фасадов зданий;

– массовым явлением при строительстве жилых и общественных зданий стали ничем не оправданные башенные надстройки, многочисленные декоративные колоннады и портики, заимствованные из прошлого.

В Постановлении приводятся многочисленные примеры, в которых наблюдаются излишества в архитектуре зданий. К примеру, приводились данные о крупных излишествах, допущенных при проектировании гостиницы «Ленинградская» на 354 номера на Каланчевской площади в г. Москве (архитекторы Поляков Л.М. и Борецкий А.Б.) (Рис.1). Центральный Комитет КПСС отмечал, что средства, затраченные на проект, могло бы хватить на строительство экономично запроектированной гостиницы на 1000 номеров [2]. Критике подверглись и многие другие здания, которые на современном этапе входят в число объектов культурного значения на разных уровнях.



Рисунок 1. Гостиница «Ленинградская» – отель «Хилтон»,
ул. Каланчёвская, г. Москва.

Примечание: фото получено с сайта «Туристер» [2].

Стоит отметить, что значительная часть жилых зданий и большая часть промышленных объектов того времени строились по индивидуальным проектам, что является одной из главных причин, порождающих излишества в архитектуре того времени.

Необходимо подчеркнуть, что к моменту принятия Постановления в СССР уже существовал «План типового проектирования», который был лишен украшательской архитектуры. Но, к сожалению, наблюдался такой факт, что многие министерства и ведомства отодвинули «типовое проектирование» на второй план.

Особо подчеркивалось, что при проектировании и строительстве зданий и сооружений архитекторы должны уделять внимание вопросам экономики, созданию наибольших удобств для населения, благоустройству квартир, а также озеленению жилых районов и кварталов.

Немаловажным моментом является тот факт, что за рекомендацией о простоте архитектурных решений, строгостью форм и экономии в проектировании говорилось и о сохранении органической связи архитектурных форм с назначением зданий и сооружений, хороших их пропорций, а также правильном использовании материалов, конструкций и деталей. Несмотря на положительную технико-экономическую целесообразность типовых проектов, это привело к меньшей индивидуальности и разнообразию в городских пейзажах. Особенно ярко это наблюдалось в типовых проектах жилых зданий различных серий.

Жилые группы, состоящие из одинаковых строений, выглядели скучно и безлико. Это обстоятельство снижало эстетическую привлекательность жилого района или квартала. Также упрощение означало использование дешевых материалов и типовых конструктивных элементов, что впоследствии сказалось на долговечности и качестве строительства. К сожалению, тривиальные решения не всегда могут служить на благо.

Известно, что основу архитектурного облика жилых районов советских городов в период урбанизации во второй половине XX века формировались за счёт типовых проектов. Массовое распространение получили проекты таких архитекторов, как В.П. Лагутенко, Н.А. Остерман и Г.П. Павлов. Необходимо отметить, что ключевыми особенностями внедрения типовых проектов являлись: ориентация строительной отрасли на индустриализацию; минимизация себестоимости квадратного метра жилья и высокая скорость возведения строений. Агрессивный уход от украшательской архитектуры привел к обезличиванию архитектуры жилых зданий и однообразию жилых групп. Даже при всех плюсах серийных домов это сильно сказывалось на архитектурно-планировочном решении зданий. Иногда усиленная тривиальность в архитектурно-планировочном решении зданий приводила к простой прямоугольной форме строения.

Большое распространение получили многосекционные жилые дома серии К-7, которые возводились в период с 1950 по 1970 годы. Необходимо подчеркнуть, что серия К-7 стал основой массовой жилой застройки 60-х годов XX века в СССР. Несущим каркасом этих домов являлась панель, которая также выполняла функции ограждающей конструкции, колонны и ригелей. В результате такой неотъемлемый элемент жилого дома, как балкон, вовсе был исключен из архитектурно-планировочного решения домов серии К-7 [3]. Данную особенность можно наблюдать на рисунке 2, где слева, изображен четырехсекционный пятиэтажный жилой дом, расположенный по улице Бейбитшилик, 75, г. Астана, а справа изображен пятиэтажный жилой дом, состоящий из восьми секции, расположенный по улице Бейбитшилик, дом 62, г. Астана.

Оба проекта относятся к серии К-7 модификации К-7-3-4. Характерными признаками этой модификации является наличие глухих торцов жилого дома, отсутствие балконов и облицовка панелей белым или красным неглазурованным кафелем квадратной формы.

Отметим, что типовые проекты были ответом на послевоенную нехватку жилья. Эти проекты стали символом массового и относительно быстрого строительства. Необходимо подчеркнуть, что главная цель серийных проектов – это предоставить как можно большему количеству населения СССР доступное жилье. Типовое проектирование стал компромиссом между доступностью и качеством жилья. Тем не менее, серийные

дома сыграли важнейшую роль в урбанизации союзных стран, а также в тривиальности архитектуры жилых домов.

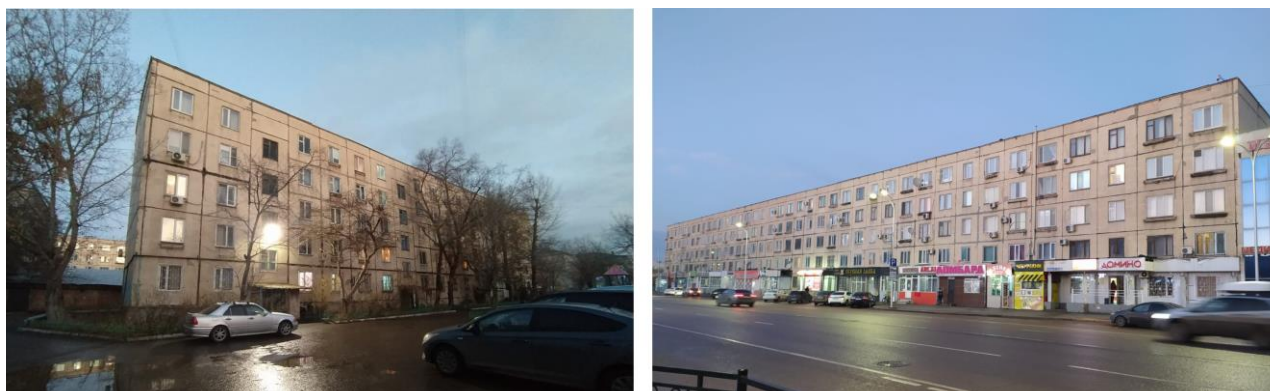


Рисунок 2. Секционный пятиэтажный жилой дом серии К-7, г. Астана.

Примечание: фото автора.

В XXI веке жилые дома имеют большую гибкость по функциональности, которая соответствует реалиям времени. Архитектурно-планировочное решение современных жилых домов в последние десятилетия претерпело значительные изменения. На современном этапе жилые дома проектируются с учетом изменяющихся потребностей населения. Одним из таких потребностей является гибкость перепланировки жилища. Возможность переустройства внутреннего пространства дома даёт широкие возможности повышения комфорта проживания.

В эстетическом плане современные жилые дома отличаются ярким, нестандартным дизайном, использованием стеклянных фасадов, интересных текстур и применением современных отделочных материалов. Но, к сожалению, эти новшества никак не касаются формы строения. Одним из примеров таких жилых домов является жилой дом, расположенный по улице Караменде би Шакаулы в г. Астане.

Застройщик данного жилого дома уже на этапе проектирования предусмотрел современное планировочное решение, в частности, по отношению к однокомнатным квартирам, которые в обиходе называются «евродвушка». Известно, что тип квартиры определяется количеством жилых комнат, но при такой планировке, когда гостиная и кухня объединены, формируется удобное, а главное функциональное внутреннее пространство. Безусловно, это является положительной стороной данного жилого дома, когда большинство застройщиков продолжают строить классические однокомнатные квартиры. Такие функциональные квартиры весьма актуальны на современном этапе. Но, к сожалению, экстерьер жилого дома весьма посредствен и из современного решения в нем только отделочные материалы (Рис. 3).



Рисунок 3. Жилой дом по улице Караменде би Шакаулы в г. Астане.

Примечание: Изображения получены с korter.kz [4].

Отсутствие игры объемов в форме строения лишает динамичности здания и придаёт ей однотипность. Наблюдается тривиальность композиции в объемно-пространственном решении, а необходимость применение нестандартных форм так и напрашивается. По итогу фасад имеет плоскую форму, нет визуальной глубины строения, теряется уникальность и привлекательность жилого дома.

Склонность современных проектировщиков к тривиальности в объемно-пространственном решении строения обуславливается многими факторами, но необходимо отметить, что эта тенденция является антиподом интересных и уникальных архитектурно-планировочных решений зданий и сооружений. Такие проекты по итогу становятся типичными серыми коробками, которые не будоражат воображение и выглядят так, словно их скопировали по шаблону. Безусловно, они могут выполнять все заложенные в них функции, но, к сожалению, такие жилые дома просто утопают в безликом массиве других таких же зданий.

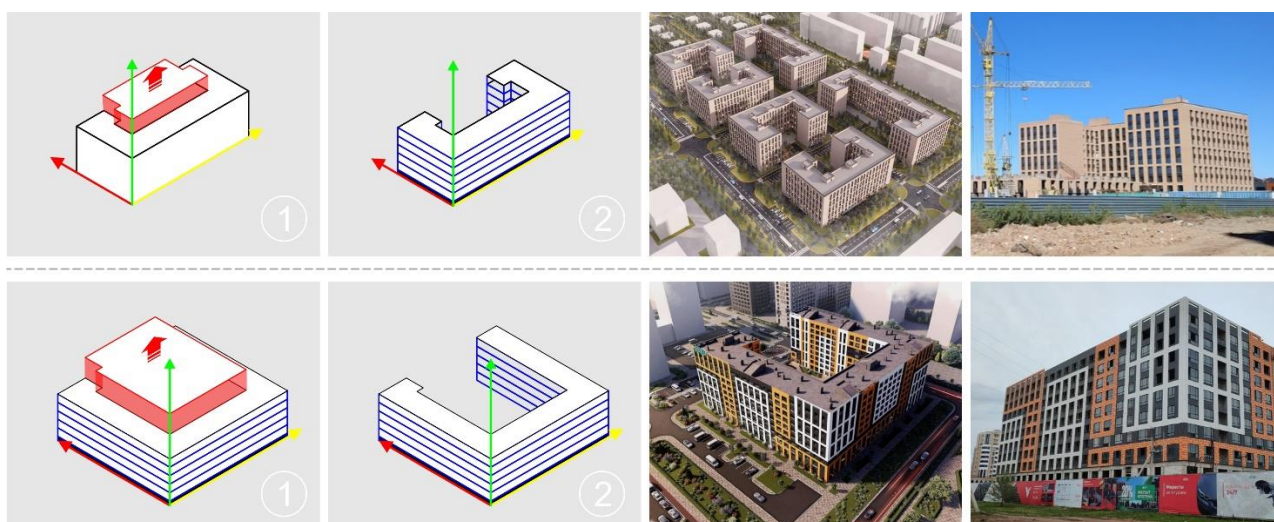


Рисунок 4. Сравнение динамики форм современных жилых домов.

(Сверху: ЖК по улице Караменде би Шакаулы, внизу: ЖК по улице А. Байтурсынулы, г. Астана)

Примечание: визуализация автора, изображение ЖК получены с korter.kz [4].

Как уже отмечалось, типовой проект являлся экспресс-решением с акцентом на массовость и экономию. Решение для быстрого восстановления жилищного фонда стран СССР после войны и удовлетворение потребностей растущего городского населения. Архитектура современных жилых домов находится на перепутье между тривиальностью и уникальностью. Наблюдается такой факт, что архитектура одних жилых домов стремится к разнообразию форм и объемов, а других - к простоте и плоскости фасадов.

На рисунке 4 приведен анализ объемно-пространственного решения современных жилых комплексов. В приведённом примере жилые дома имеют больше сходств в форме, цвете, в объеме и т.п., а различия вовсе не существенны. Также можно отметить стандартизированное и функциональное объемно-пространственное решение. Практически одинаковую этажность строений с простыми формами, однообразными фасадами и ограниченной архитектурной выразительностью.

Важность игры объемов в строениях неоспорима, а создание интересных и притягательных форм в архитектуре зданий формирует облик современной жилой группы, а он, в свою очередь, впечатление о квартале, микрорайоне. Ошибочно будет полагать, что тривиальность одного строения никоим образом не отражается на других зданиях, стоящих непосредственно рядом друг с другом.

Известно, что среда обитания влияет на поведение человека, а тусклые и скучные блочные формы в совокупности с холодными цветами могут сказаться на психоэмоциональном состоянии горожан, что, в свою очередь, скажется на социальном взаимодействии и безопасности. Особенно это сильно ощущается в межквартальных пространствах.

Социальное взаимодействие и безопасность между кварталами носит особый характер. Пространства между кварталами в большинстве случаев характеризуются своей «заброшенностью». Это ментальное восприятие и деление территории на «мой – чужой». В результате пространства за пределами жилой группы остаются бесхозными. Также нужно отметить, что горожане связывают свое чувство незащищенности в таких местах с высоким уровнем правонарушений, это также следствие предыдущего пункта. Для улучшения и повышения комфорта в пространствах между жилыми группами необходимо рассматривать альтернативы, которые позволят использовать их постоянно [5].

Жилая единица, жилая группа и т.д. – это всё в совокупности формирует определенный микроклимат в городской среде. Тривиальность современных жилых домов создает замкнутое блочное пространство в масштабе города, вследствие чего неумышленно создаётся социальная стратификация.

Заключение

Целью исследования было определение риска возникновения тривиальности современной архитектуры Казахстана. Достижение поставленной цели стало возможным благодаря анализу опыта умышленного формирования условий упрощения

архитектуры жилых домов в период Советского Союза, анализу современных тенденций, влияющих на архитектурно-планировочное решение жилых зданий и анализу условий формообразования жилых домов посредством моделирования. В результате было установлено, что основными триггерами возникновения тривиальной формы в архитектуре жилых зданий является экономический фактор, девелоперская деятельность с агрессивным маркетингом.

Натурный анализ выборочных жилых домов подтверждает факт завуалированности архитектуры жилых зданий. За красочным дизайном и применением различных сочетаний цветов на фасаде скрывается простое блочное объемно-пространственное решение. Кроме того, современность экстерьера достигается искусной игрой размеров оконных проёмов и других элементов фасада, никоим образом не касающихся масштабных формы и объема строения.

Экспериментальное моделирование формообразования архитектуры современных жилых домов показало, что в основе объемно-пространственного решения жилых комплексов лежит простая геометрическая фигура в виде прямоугольника или квадрата. Хотя в масштабе строения это не сильно ощущается, но факт отсутствия игры форм и объемов остается. Следовательно, необходимо переосмыслить условия визуальной оценки архитектуры жилых зданий. Следует отметить, что простые граждане не сильно обращают внимание на наличие уникальной игры форм и объёмов в архитектуре жилых зданий, что нельзя сказать об общественных зданиях. Ситуация в объемно-пространственном решении общественных зданий прямо противоположное. Здесь наблюдается искусная игра форм, смелые решения в объеме и особенно важно - минимальное количество использования различных цветов. В большинстве случаев наблюдается применение ахроматических тонов. Чтобы снизить тривиальность архитектуры современных жилых зданий необходимо повысить роль игры форм и объемов в контексте формообразования, а также создать условия для поощрения застройщиков, которые возводят проекты с минимальной тривиальностью в форме строения.

На современном этапе тривиальность формы архитектуры жилых зданий в большинстве случаев наблюдается в строениях III и IV классов жилья. Как уже выше отмечалось, основным условием этого является экономический фактор. Что касается в домах I и II классов жилья, то данная тенденция не сильно проявляется.

Вклад авторов.

Карабаев Г.А. – сбор материалов, анализ и интерпретация полученных данных, определение и формулировка основной цели и задач работы, составление чернового варианта рукописи, критическая оценка интеллектуального содержания, ответственность за все аспекты работы и утверждение окончательного варианта.

Мамедов С.Э. – разработка концепции и формирование идеи, проведение исследований и моделирование, участие в научном дизайне работы, подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей рукописи.

Список литературы

1. Библиотека нормативно-правовых актов Союза Советских Социалистических Республик. – [Электрон. ресурс] - URL: https://www.libussr.ru/doc_ussr/ussr_5043.htm
2. Туристер – сообщество опытных путешественников. – [Электрон. ресурс] - URL: <https://www.tourister.ru/>
3. Мойзер Ф., Задорин Д. К типологии советского типового домостроения// Индустриальное жилищное строительство в СССР 1955-1991. – Берлин: DOM publishers, 2018. – 447 с.
4. Korter.kz – онлайн-сервис о новостройках Казахстана. – [Электрон. ресурс] - URL: <https://korter.kz/>
5. Lizeth Félix, Mariel Organista. Understanding the neighborhoods' in-between spaces on spatial perception, social interaction, and security // Frontiers of Architectural Research, Volume 13, Issue 1, 2024, P. 21-36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2023.10.001>
6. Рудаков П.Г., Федоров Е.П. Городское жилищное строительство. – М.: Стройиздат, 1963. – 103 с.
7. Плешивцев А.А. История архитектуры: учебное пособие. – М.: МГСУ, 2015. – 398 с.
8. Информационно-образовательный портал. – [Электрон. ресурс] - URL: <https://totalarch.com/>.

Г.А.Карабаев*¹, С.Э.Мамедов

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

Заманауи тұрғын үй кешендерінің сәулетінің тривиалдылық тәуекелдері (Астана қ. мысалында)

Андатпа. Соңғы онжылдықтарда Қазақстанда жаңа ғимараттардың белсенді құрылысы байқалуда. Салынып жатқан нысандарда әртүрлі көлемдер мен пішіндер бар. Даму қызметі ғимараттардың сәулеттік-жоспарлау шешімдері саласындағы заманауи трендтерді белгілейді. Бірақ барлық трендтер оң емес. Мақаланың мақсаты Қазақстанның қазіргі заманғы сәулет өнеріндегі тривиалдылық тенденциясының туындау тәуекелдерін, атап айтқанда ғимараттардың көлемдік-кеңістіктік шешімін оңайлату үрдісінің туындау тәуекелдерін, сондай-ақ әзірлеушінің тұтастай алғанда сәулет тривиалдылығының дамуына әсерін талдау болып табылады. Жоғарыда айтылғандарға қарағанда, зерттеу Қазақстанның қазіргі заманғы сәулет құрылымының көлемінде қарапайым блоктық нысандардың пайда болуына әсер ететін жағдайлар мен факторларды көрсету болып табылады. Зерттеу ХХ ғасырдың ортасында КСРО сәулетіндегі тривиалдылықтың пайда болуын талдауға, Астана қаласының тұрғын үй құрылыстарының қазіргі заманғы сәулетін заттай зерттеуге және тұрғын үй кешендерінің көлемдік шешімінің қалыптасуын модельдеуге негізделген. Нәтижелер ғимараттардың сәулетінде тривиалдылықтың пайда болу процесі келесі факторларға байланысты екенін көрсетеді: даму қызметі, агрессивті маркетинг және экономикалық жағдайлар.

Түйін сөздер: сәулет, көлемдік-кеңістіктік шешім, тривиалдылық, типтік жобалау, сәулеттік-жоспарлау.

G.A.Karabayev*¹, S.E.Mamedov

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan

**The risks of triviality in the architecture of modern residential complexes
(in the example of Astana)**

Abstract. In recent decades, there has been an active construction of new buildings in Kazakhstan. The objects being built have a different play of volumes and shapes. Development activity dictates modern trends in the field of architectural and planning solutions of buildings. But not all trends are positive. The purpose of the article is to analyze the risks of the trend of triviality in modern architecture of Kazakhstan, in particular the trend of simplification of spatial solutions of buildings, as well as the influence of the developer on the development of triviality of architecture in general. In addition to the above, the study reflects the conditions and factors influencing the emergence of simple block forms in the volume of the structure of modern architecture in Kazakhstan. The study is based on the analysis of the emergence of triviality in the architecture of the USSR in the middle of the twentieth century, on a full-scale study of the modern architecture of residential buildings in Astana and modeling the formation of a three-dimensional solution of residential complexes. The results show that the process of triviality in the architecture of buildings is caused by the following factors: development activities, aggressive marketing and economic conditions.

Keywords: architecture, spatial solution, triviality, typical design, architectural planning.

References

1. Библиотека нормативно-правовых актов Союза Советских Социалистических Республик, [Library of Normative Legal Acts of the Union of Soviet Socialist Republics]. Available at: https://www.libussr.ru/doc_ussr/ussr_5043.htm
2. Turister – soobshchestvo opytnyh puteshestvennikov, [Turister – a community of experienced travelers]. Available at: <https://www.tourister.ru/>
3. F.Mojzer, D.Zadorin. K tipologii sovetskogo tipovogo domostroeniya. Industrial'noe zhilishchnoe stroitel'stvo v SSSR 1955 – 1991 [On the typology of the Soviet standard housing construction. Industrial housing construction in the USSR 1955 – 1991]. (Berlin, DOM publishers, 2018, 447 p.) [in Russian].
4. Korter.kz – onlajn servis o novostrojках Kazahstana, [Korter.kz – online service about new buildings in Kazakhstan]. Available at: <https://korter.kz/>
5. Lizeth Félix, Mariel Organista. Understanding the neighborhoods' in-between spaces on spatial perception, social interaction, and security // *Frontiers of Architectural Research*, Volume 13, Issue 1, 2024, P. 21-36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2023.10.001>
6. Rudakov P.G., Fedorov E.P. Gorodskoe zhilishchnoe stroitel'stvo [Urban housing construction]. (Moscow, Strojizdat, 1963, 103 p.) [in Russian].
7. Pleshivcev A.A. Istoriya arhitektury. Uchebnoe posobie [The history of architecture. Study guide]. (Moscow, 2015, 398 p.) [in Russian].
8. Informacionno-obrazovatel'nyj portal, [Information and educational portal]. Available at: <https://totalarch.com/> .

Сведения об авторах:

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

Мамедов С.Э. – PhD докторы, тәжірибелі-доцент, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтбаев к-сі, 2, 10000, Астана, Қазақстан

Карабаев Г.А. – автор для корреспонденции, доктор PhD, и.о. ассоциированного профессора, Казахский агротехнический исследовательский университет им.С.Сейфуллина, проспект Женис, 62, 010011, Астана, Казахстан.

Мамедов С.Э. – доктор PhD, доцент-практик, Евразийский национальный университет им.Л.Н.Гумилева, ул. Сатпаева, 2, 10000, Астана, Казахстан.

Karabayev G.A. – corresponding author, PhD, Acting Associate Professor, S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Zhenis avenue, 62, 010011, Astana, Kazakhstan

Mamedov S.E. – PhD, Associate Professor of Practice, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Satbaev st., 2, 10000, Astana, Kazakhstan



Copyright: © 2024 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 51.39.29

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-149-4-363-380>

Научная статья

Разработка системы автоматического регулирования температурного режима вакуум-сублимационной сушки на основе идентификации параметров объекта

А.Б.Рахматуллина¹, Ж.Ж.Омирбекова², М.Б.Толганбаева*³,
Н.М.Тасмурзаев⁴

¹РГП на ПХВ «Институт механики и машиноведения имени академика У. А. Джолдасбекова»

²Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева

³Южно-Казахстанский государственный университет имени М. Ауезова

⁴Казахский национальный университет имени Аль-Фараби

(E-mail: *tolganbaeva86@mail.ru)

Аннотация. Статья посвящена исследованию методов управления процессом сушки молока с особым вниманием к выбору оптимальных регуляторов на основе данных и параметрической идентификации объекта. Рассматриваются различные подходы к улучшению точности и эффективности системы управления, что позволяет адаптировать её к изменяющимся условиям производства. Основной акцент сделан на параметрической идентификации с использованием температурных данных для более точного моделирования динамики процесса сушки. Это позволяет разработать более эффективные регуляторы, обеспечивающие стабильное управление процессом и снижение энергозатрат. Представленные результаты показывают, что предложенные методы улучшают качество конечного продукта и оптимизируют энергопотребление. Исследование делает значительный вклад в область оптимизации технологических процессов в молочной промышленности, предлагая современные решения для управления с учетом специфики производства. Эти выводы способствуют повышению конкурентоспособности и устойчивости предприятий в данной отрасли.

Ключевые слова: сушка молока, контур управления, регулирование процесса, оптимальный регулятор, идентификация объекта, молочная промышленность.

Поступила 22.10.2024. Доработана 18.11.2024. Одобрена 07.12.2024. Доступна онлайн 31.12.2024

¹*автор корреспонденции

Введение

Вакуумная сублимационная сушка представляет собой передовую технологию, применяемую в пищевой промышленности для обработки разнообразных продуктов. Она используется для сушки фруктов и овощей, мяса и птицы, морепродуктов, приправ, полуфабрикатов и специализированных продуктов. Благодаря этой технологии удается сохранять исходный цвет, аромат, вкус, форму и свежесть продуктов, обеспечивая их высокое качество [1-4].

Процесс вакуумной сублимационной сушки обладает рядом преимуществ. Важнейшее из них – отличная дегидратация, которая позволяет удалять влагу из продукта при низких температурах, сохраняя при этом его питательные и органолептические свойства. Готовый продукт, полученный таким способом, легко хранить и транспортировать, поскольку снижается его масса и объем. Стоимость хранения и транспортировки уменьшается, а срок годности продуктов значительно увеличивается [4].

В последние годы исследования показали, что точный контроль температурных и вакуумных параметров является ключом к эффективности сублимации. Важно поддерживать оптимальный температурный градиент между продуктом и конденсатором, так как это ускоряет переход воды в парообразное состояние, не повреждая структуру продукта. Например, исследование показало, что при увеличении разницы температур между полками и продуктом процесс сублимации ускоряется, сохраняя высокое качество конечного продукта [5].

Кроме того, использование вакуума для создания идеальных условий сублимации также играет важную роль. Недавние исследования подчеркивают, что слишком низкое давление может замедлить процесс, так как температура продукта также снижается при понижении давления. Это может привести к ухудшению качества сушки и увеличению времени цикла [6].

Оптимизация температуры и давления обеспечивает более быструю и эффективную дегидратацию, что особенно важно для продуктов с чувствительными компонентами, такими, как биофармацевтические препараты и пищевые продукты высокого качества.

Таким образом, современные технологии управления вакуумом и температурой позволяют минимизировать время сублимационной сушки и улучшить качество продукции за счет более точного контроля фазовых переходов. Исследования подтверждают, что поддержание стабильных условий, а также правильный выбор оборудования (например, вакуумных насосов с высокой точностью) значительно увеличивают эффективность процесса [7].

Современная вакуумная сублимационная сушилка представляет собой сложную систему, включающую в себя:

Систему охлаждения, обеспечивающую необходимую температуру для замораживания продуктов перед сушкой.

Вакуумную систему, создающую условия низкого давления для эффективного сублимационного процесса.

Систему нагрева масляного теплоносителя, которая обеспечивает равномерное и контролируемое нагревание продуктов.

Систему осушения, отвечающую за удаление влаги и поддержание требуемых параметров воздуха внутри сушильной камеры.

Разработка систем автоматического управления (САУ) и автоматического регулирования (САР) для оборудования вакуум-сублимационной сушки кобыльего и верблюжьего молока требует особого внимания к специфике продукта и технологических процессов. В данном исследовании будет предложен алгоритм разработки таких систем, обеспечивающий оптимизацию процесса сушки и высокое качество конечного продукта [9-10].

Методология

Контур управления вакуумной сублимационной сушилкой состоит из двух ключевых этапов, которые обеспечивают эффективное и качественное высушивание продукта при минимальных потерях питательных веществ и сохранении его органолептических свойств. Первый этап – это глубокое замораживание продукта, которое начинается с активации системы охлаждения. Важность этого этапа заключается в том, что замораживание при очень низких температурах (обычно ниже -40°C) способствует образованию мелких кристаллов льда, что предотвращает разрушение клеточной структуры продукта. Это обеспечивает сохранение текстуры, вкуса и питательной ценности. На этом этапе важнейшую роль играет холодная ловушка, которая улавливает пары воды и замораживает их, предотвращая возврат влаги в продукт. Холодная ловушка критически важна для обеспечения стабильности процесса, поскольку она минимизирует вероятность окисления, разрушения структуры и других нежелательных химических реакций. Это помогает продлить срок хранения и улучшить качество конечного продукта.

Второй этап – это собственно процесс лиофилизации, который начинается с активации вакуумных насосов и компрессоров. Эти устройства создают крайне низкое давление (обычно около 1–2 Па), что приводит к тому, что вода из замороженного продукта начинает испаряться, минуя жидкую фазу. Этот процесс называется сублимацией, и он позволяет удалить влагу без разрушения структуры продукта, как это может происходить при обычной термической сушке. Важно поддерживать стабильное давление и температуру в системе, чтобы предотвратить изменение фазового состояния воды и обеспечить максимально эффективную дегидратацию. Точная настройка этих параметров играет ключевую роль в повышении качества продукта: стабильный вакуум обеспечивает равномерное удаление влаги, а контролируемая температура позволяет избежать перегрева и изменений текстуры или вкуса.

В совокупности этапы замораживания и сублимации, управляемые в строгом соответствии с заданными параметрами, позволяют достичь высокого уровня дегидратации при минимальной потере питательных веществ. Контур управления вакуумной сублимационной сушилкой, оснащенный современными средствами автоматизации и

датчиками для постоянного мониторинга температуры и давления, является ключевым элементом в обеспечении высокой эффективности и качества конечного продукта. Поддержание этих параметров на оптимальных уровнях не только увеличивает срок хранения, но и позволяет сохранить цвет, аромат, вкус и структуру, что критически важно для продуктов, подвергающихся лиофилизации, таких, как молоко, фрукты, мясо и биофармацевтические препараты.

Разработка системы управления

Планируется разработка системы управления, оснащенной семидюймовым цветным сенсорным экраном, который будет прост в использовании и эффективен. Каждый экран сможет отображать обширные данные, которые будут интуитивно понятны и легко интерпретируемы. Система будет способна сохранять до 40 программ контроля температуры, каждая из которых сможет включать до 36 сегментов. Использование усовершенствованного алгоритма нечеткого ПИД-регулирования обеспечит точный и стабильный контроль температуры. В процессе автоматического контроля температуры параметры смогут быть изменены в любое время, что обеспечит гибкость работы.

Система управления будет контролировать температуру перегородки согласно заранее заданным параметрам. Для обеспечения стабильной и надежной работы системы управления планируется внедрить различные меры по поддержанию стабильности. В рамках разработки предусмотрено отображение различных экранов для мониторинга и управления процессом. Такая система управления обеспечит высокую точность и надежность, что является критически важным для эффективного проведения процесса вакуумной сублимационной сушки.

Идентификация объекта с помощью данных

Параметрическая идентификация для вакуумной сублимационной сушки использовала входные данные (уставка температуры) и выходные значения (температуры в точках 1-5) для построения модели, описывающей динамическое поведение системы. Процесс идентификации включает в себя сбор данных, их нормализацию и выбор подходящей модели, которая связывает входные и выходные данные. В данном случае была выбрана линейная модель ARX (Auto-Regressive with eXogenous inputs), которая учитывает влияние уставки на изменение температур в разных точках системы сублимации [ссылка].

После применения метода наименьших квадратов для оценки параметров модели была получена передаточная функция, описывающая связь между уставкой температуры и температурными изменениями. Модель первого порядка может быть представлена передаточной функцией вида:

$$W(s) = \frac{K}{Ts+1} \quad (1)$$

где K – коэффициент усиления, а T – постоянная времени, характеризующая скорость реакции системы на изменение уставки. Передаточная функция позволяет понять, насколько быстро система стабилизирует температуру при изменении уставки и насколько велико влияние этого изменения на конечные параметры.

Использование передаточной функции в системе управления сублимацией позволяет не только лучше контролировать температурные параметры, но и оптимизировать процесс сушки. Это особенно важно для обеспечения равномерного и качественного удаления влаги без нарушения структуры продукта. Такая модель позволяет улучшить точность регулирования и минимизировать затраты энергии за счет оптимальной настройки параметров системы управления.

Идентификация объекта управления является важным этапом в разработке эффективной системы управления вакуумной сублимационной сушилкой. Этот процесс включает в себя использование данных, собранных в ходе работы прототипного оборудования типа ZLGJ-300 для определения параметров, описывающих динамическое поведение системы. Параметрическая идентификация непрерывных систем фокусируется на установлении параметров дифференциальных уравнений, которые моделируют поведение управляемого объекта [10-11].

Прототипное оборудование оснащено датчиками, которые непрерывно измеряют и записывают данные о различных параметрах системы, таких, как температура внутри камеры, температура холодной ловушки, давление и другие ключевые показатели. Эти данные служат основой для процесса идентификации. Контур управления вакуумной сублимационной сушилкой включает в себя взаимодействие между заданной температурой и температурой холодной ловушки. Для достижения оптимальной работы системы необходимо точно моделировать это взаимодействие, что требует точного определения параметров дифференциальных уравнений, описывающих тепловые и динамические процессы. Данные приведены в таблице 1.

Процесс параметрической идентификации начинается с анализа данных, собранных с прототипного оборудования. Эти данные включают в себя временные ряды измерений температуры, давления и других параметров в различных точках системы. На основе этих данных строятся математические модели, которые затем калибруются с целью минимизации расхождений между предсказаниями модели и реальными наблюдениями. Для этого применяются методы статистической идентификации, такие, как метод наименьших квадратов, метод максимального правдоподобия и другие современные алгоритмы оптимизации.

После определения параметров модели проводится их верификация и валидация. Верификация включает проверку модели на соответствие исходным данным, а валидация – проверку модели на новых, независимых наборах данных, которые не использовались при калибровке. Это позволяет убедиться в том, что модель правильно описывает поведение системы в широком диапазоне рабочих условий.

Разработанная модель затем интегрируется в систему управления сушилкой, позволяя осуществлять более точное и стабильное регулирование процесса сублимационной сушки. В итоге этот подход обеспечивает высокий уровень контроля над процессом, улучшая качество конечного продукта и повышая эффективность работы оборудования.

Таблица 1. Измеренный температурный режим сушки кобыльего молока (отрывок)

MCGS_TIME	Температура холодной ловушки	Уставка температуры	Вакуум, ПА	температура 1	температура 2	температура 3	температура 4	температура 5
15.03.2024 11:54	-32.6	-50	110000	-16.3	-20.9	-18.9	-22.7	-23.2
15.03.2024 11:57	-34.4	-50	110000	-18.1	-22.9	-20.9	-24.7	-25.3
15.03.2024 12:00	-36	-50	110000	-19.6	-24.8	-22.7	-26.4	-27.1
15.03.2024 12:03	-37.4	-50	110000	-20.9	-26.5	-24.3	-28.1	-28.9
15.03.2024 12:06	-38.7	-50	110000	-22.5	-28	-25.7	-29.7	-30.4
15.03.2024 12:09	-40	-50	110000	-23.6	-29.5	-27.1	-31	-31.8
15.03.2024 12:12	-41.2	-50	97160	-24.7	-30.8	-28.4	-32.4	-33.1
15.03.2024 12:15	-42.3	-50	95733.33	-25.6	-32.1	-29.5	-33.5	-34.3
15.03.2024 12:18	-43.4	-50	95733.33	-26.6	-33.2	-30.6	-34.6	-35.4
15.03.2024 12:21	-44.4	-50	94306.66	-27.4	-34.3	-31.6	-35.6	-36.5
15.03.2024 12:24	-45.3	-50	92880	-28.1	-35.3	-32.5	-36.7	-37.5
15.03.2024 12:27	-46.2	-50	92880	-28.9	-36.3	-33.3	-37.6	-38.4
15.03.2024 12:30	-47.1	-50	92880	-29.8	-37.2	-34.1	-38.4	-39.2
15.03.2024 12:33	-47.8	-50	92880	-30.6	-38.1	-34.8	-39.3	-40.1
15.03.2024 12:36	-48.6	-50	91453.33	-31.4	-38.9	-35.5	-39.8	-40.9
15.03.2024 12:39	-49.3	-50	91453.33	-32	-39.6	-36.1	-40.6	-41.7
15.03.2024 12:42	-50	-50	91453.33	-32.6	-40.4	-36.7	-41.2	-42.4
15.03.2024 12:45	-49.8	-50	91453.33	-33.1	-41	-37.1	-41.6	-42.9

15.03.2024 12:48	-49.7	-50	91453.33	-33.4	-41.6	-37.5	-42	-43.3
---------------------	-------	-----	----------	-------	-------	-------	-----	-------

Массив данных, использованный для параметрической идентификации, состоит из 482 записей, каждая из которых отражает изменение температуры в течение 20 часов процесса сублимационной сушки. Сбор данных проводился с интервалом в 3 минуты, что обеспечило высокую временную разрешающую способность и позволило детально анализировать динамику температурных изменений. Эти данные были получены в ходе реального эксперимента сушки верблюжьего молока, проведенного 15 марта 2024 года. Результаты эксперимента послужили основой для построения модели, точно описывающей поведение системы сушки в условиях изменения температур и давления, что делает модель высоко применимой для дальнейших исследований и оптимизации процесса.

Такой подробный временной ряд позволяет учесть как кратковременные флуктуации температуры, так и долговременные тренды, связанные с переходными процессами и стабилизацией системы. Данные о температуре, полученные с заданной частотой, являются критически важными для построения точных моделей, которые могут адекватно описать тепловое поведение системы в различных режимах работы.

В результате использование этого массива данных позволяет достичь высокой точности при параметрической идентификации и обеспечивает разработку надежных моделей для системы управления вакуумной сублимационной сушилкой.

Исследование динамических систем с использованием System Identification Toolbox MATLAB включает процесс построения математической модели на основе экспериментальных данных, чтобы точно описать поведение системы. В данном исследовании целью является определение передаточной функции на основе данных временной области (например, "mydata"). Для этого был выбран метод TFEST (Transfer Function Estimation), который позволяет оценить параметры передаточной функции на основе измеренных входных и выходных данных системы.

Метод TFEST работает с временными рядами, позволяя пользователю определить порядок передаточной функции и оценить её параметры (коэффициенты числителя и знаменателя). Это важно для построения модели, которая точно описывает динамическое поведение системы в ответ на входные воздействия. После идентификации передаточная функция может быть использована для моделирования и анализа системы, а также для дальнейшей настройки регуляторов, таких, как ПИД, что особенно важно в контексте управления и автоматизации.

Использование System Identification Toolbox и метода TFEST делает возможным построение моделей с высокой точностью, что позволяет инженерам и исследователям эффективно анализировать сложные динамические системы, прогнозировать их поведение и оптимизировать процессы управления. [11, 12-13].

В процессе идентификации было установлено, что передаточная функция системы имела два полюса и два нуля, что точно отражало её динамические характеристики. Оценка модели показала высокую степень соответствия с расчетными данными – 96,07%,

что подтвердило стабильность и точность полученной модели. Оценки качества модели, такие, как Final Prediction Error (FPE) и Mean Squared Error (MSE), составили 2,177 и 2,128 соответственно, что указывало на хорошую адаптацию модели к экспериментальным данным.

Результаты исследования продемонстрировали возможность их непосредственного применения для анализа и управления динамическими системами, а также для последующей интеграции модели в Simulink MATLAB для проведения симуляций и принятия инженерных решений. Подход с использованием идентификации системы показал высокую эффективность в использовании данных для оптимизации процессов и разработки технологических решений в области автоматизации и управления системами.

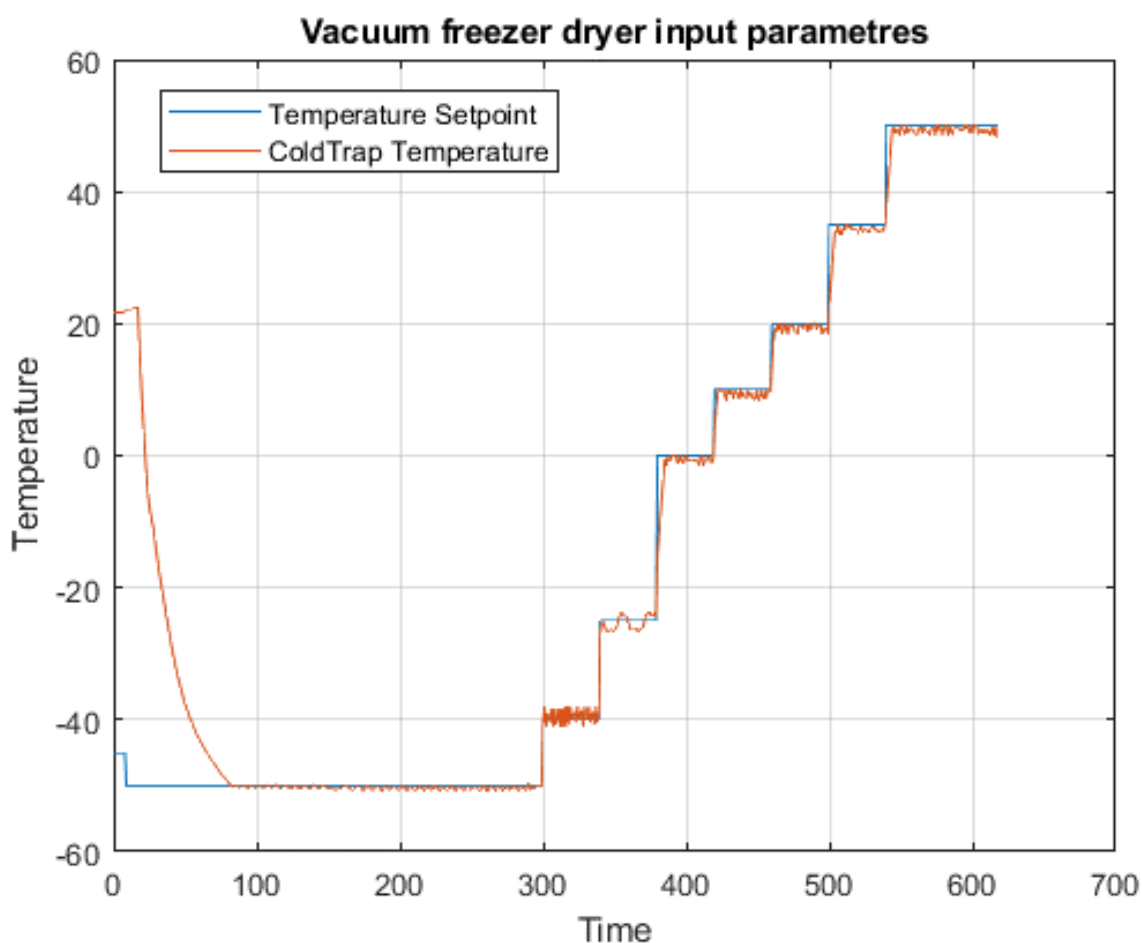


Рисунок 1. Входные данные для идентификации.

Модель, полученная в результате идентификации, представлена в формуле 2 и показана на рисунке 2. Она точно описывает динамическое поведение системы и может использоваться для дальнейшей разработки алгоритмов управления и симуляций в инженерных приложениях.

После идентификации объекта управления следующим этапом исследования становится разработка оптимальных параметров регулятора.

На рисунке 2 представлены результаты измеренных и смоделированных данных, описывающих динамическое поведение системы при управлении температурным режимом. Чёрная линия представляет измеренные данные, а цветные линии – это модели, полученные для пяти различных передаточных функций (tf1, tf2, tf3, tf4, tf5), каждая из которых демонстрирует точность моделирования в процентах.

– tf1 (синяя линия) показывает точность 88.79%. Она описывает близкое соответствие моделированного отклика с реальными данными, однако в начале графика видно отклонение при первых изменениях.

– tf2 (зелёная линия) имеет точность 83.46%, демонстрируя несколько более значительное отклонение на ранних этапах по сравнению с tf1.

– tf3 (красная линия) показывает точность 84.85% и сходную динамику отклика с tf2, но небольшое расхождение с измеренными данными.

– tf4 (пурпурная линия) демонстрирует точность 96.07%, которая является одной из самых высоких среди моделей. Она почти идеально повторяет изменения системы, особенно в областях с более медленными изменениями.

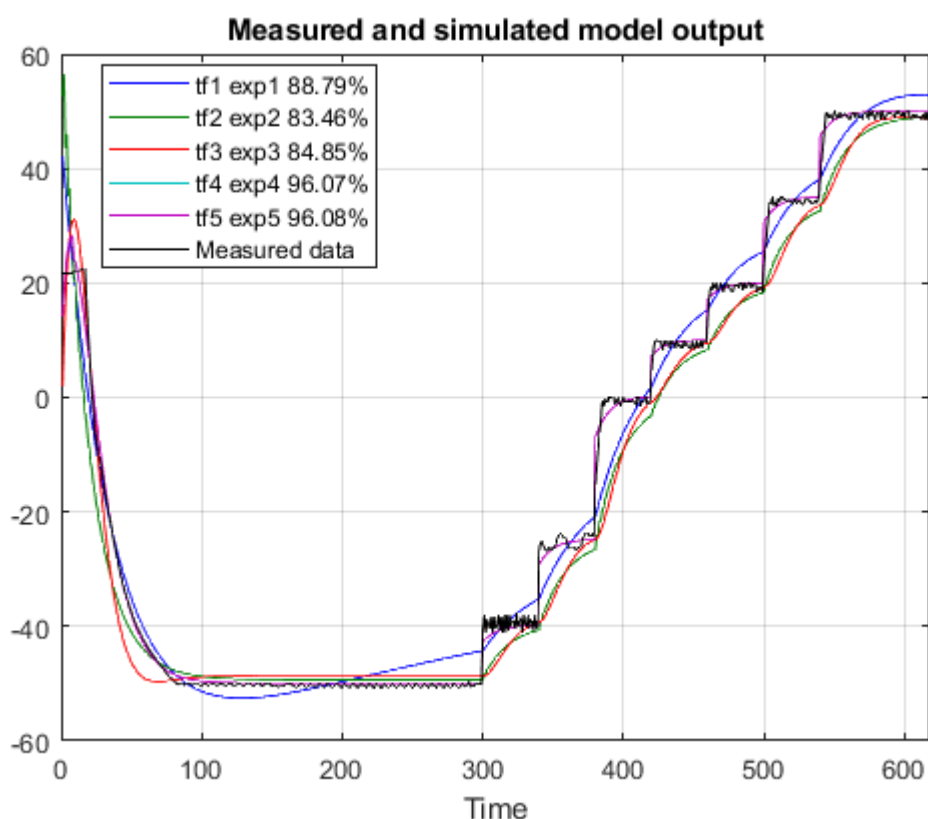


Рисунок 2. Результаты идентификации объекта управления.

$$W(s) = \frac{0.7184s^2 + 0.1313s + 0.005}{s^2 + 0.1448s + 0.005} \quad (2)$$

– tf5 (чёрная линия) имеет точность 96.08% и показывает практически идеальное совпадение с измеренными данными на всём интервале времени.

Результаты показывают, что модели с tf4 и tf5 имеют наибольшую точность и лучше всего описывают динамику системы с минимальными отклонениями от реальных данных.

Синтез параметров оптимального регулятора

В качестве алгоритма синтеза параметров оптимального регулятора был выбран LQR (Linear Quadratic Regulator), который представляет собой эффективный метод синтеза оптимальных параметров регулятора для управления линейными динамическими системами, оптимизируя квадратичный критерий производительности в формуле (3). Он использует теорию оптимального управления и методы линейной алгебры для построения регулятора, который минимизирует взвешенные квадраты состояний системы и управляющих воздействий. Основой LQR является динамическое программирование Беллмана, которое определяет оптимальную обратную связь состояний через уравнение Риккати. Этот подход широко применяется в автоматическом управлении, робототехнике и управлении процессами, обеспечивая стабильное и точное управление системами с переменными параметрами или в условиях неопределённости. LQR является мощным инструментом, способным быстро адаптироваться к изменениям в системе и обеспечивать высокую производительность при оптимальном использовании ресурсов [6-8].

$$J(t) = \int_0^{\infty} \left(x^T Q x(t) dt + u^T(t) R u(t) \right) dt \quad (3)$$

Верхняя схема на рисунке 3 демонстрирует замкнутый контур управления без использования ПИД-регулятора. Входной сигнал (ступенчатый) поступает на схему через сумматор, где он сравнивается с выходным сигналом системы (обратная связь). Разница между этими сигналами (ошибка) поступает на объект управления, который представлен передаточной функцией. Выход системы возвращается в сумматор для дальнейшей обработки. Такой контур управления, несмотря на наличие обратной связи, может иметь значительные отклонения от уставки, так как не включает механизм коррекции ошибки по времени (интегральная составляющая) или скорости изменения сигнала (дифференциальная составляющая).

Нижняя схема добавляет в контур ПИД-регулятор, который находится между сумматором и объектом управления. ПИД-регулятор корректирует управляющее воздействие на объект, используя пропорциональную (P), интегральную (I) и дифференциальную (D) составляющие для улучшения характеристик системы. Этот регулятор минимизирует ошибку, ускоряет достижение уставки и снижает перерегулирование, обеспечивая более плавный и точный переходной процесс. Добавление регулятора улучшает поведение системы, делая её более устойчивой к возмущениям и обеспечивая точное следование за заданным сигналом.

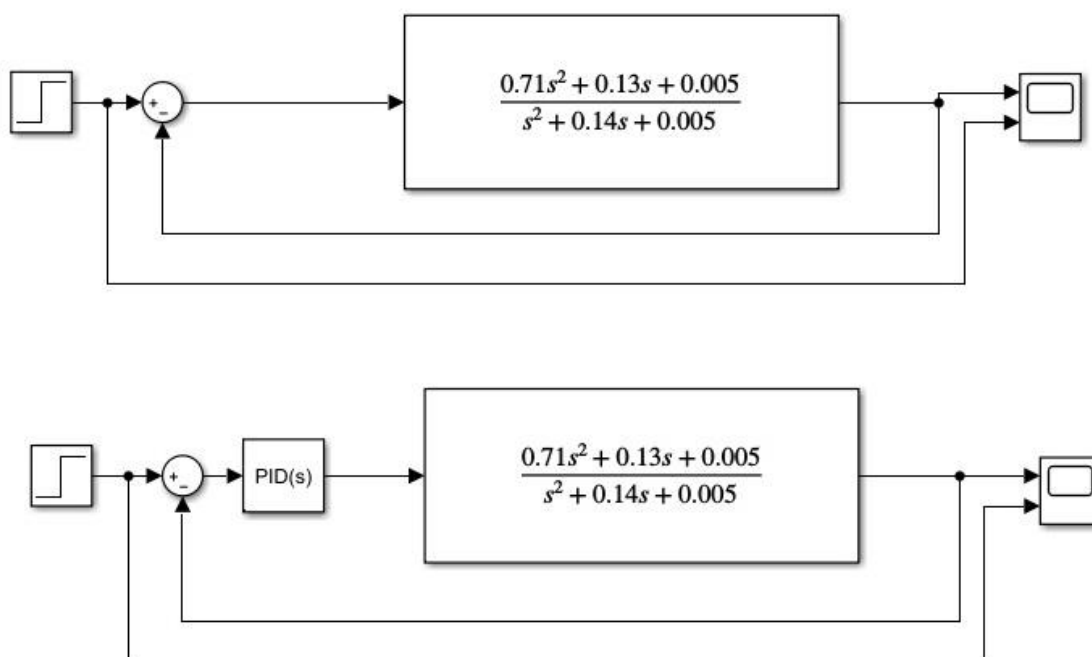


Рисунок 3. Структурные схемы замкнутой САУ с регулятором и без.

Результаты и обсуждение

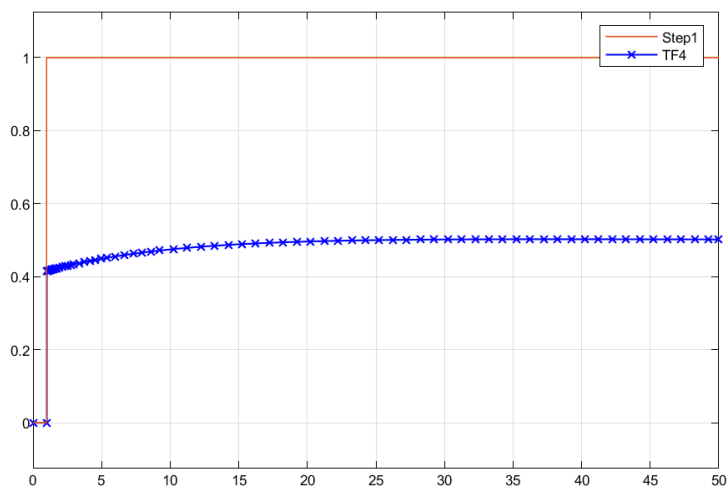
Результатом синтеза являются прямые оценки качества. Прямые оценки качества ПИД-регулятора играют ключевую роль в его эффективной настройке и оптимизации. Одним из основных критериев является стабильность системы под управлением регулятора – способность поддерживать выводимый сигнал близким к заданному значению без колебаний или перерегулирований. Точность управления также важна, измеряя, насколько близко регулятор достигает заданных целей и с какой скоростью это происходит, что особенно значимо для систем, требовательных к динамике. Кроме того, оценка реакции на возмущения и способность справляться с шумами помогают определить устойчивость работы ПИД-регулятора в реальных условиях эксплуатации. В таблице 2 приведены прямые оценки качества.

В результате синтеза ПИД-регулятора получены важные прямые оценки качества, которые играют ключевую роль в оценке его эффективности. Одним из главных критериев является стабильность системы, что означает способность регулятора поддерживать выходной сигнал близко к уставке без колебаний или перерегулирования. Важным параметром также является точность управления, которая измеряет, насколько точно система достигает заданных целей и насколько быстро это происходит. В условиях, где требуется высокая динамика, важна быстрая реакция на изменения, а также способность системы справляться с внешними возмущениями и шумами, что определяет устойчивость регулятора.

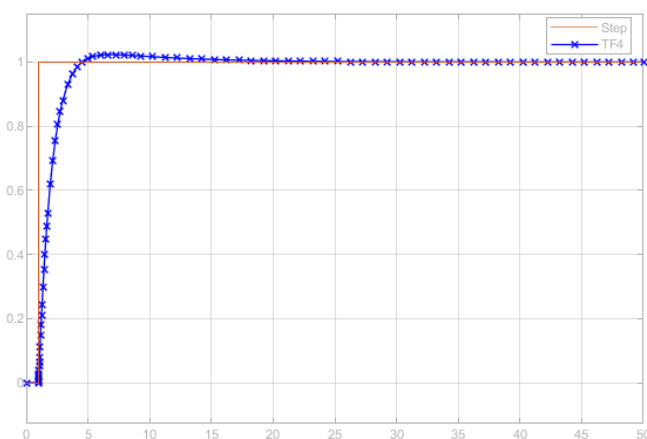
На основе анализа результатов, приведённых в графиках, видно, что синтезированный ПИД-регулятор достигает качественных показателей на уровне 96,07%. В частности,

перерегулирование составляет всего 0,821%, что указывает на минимальные колебания вокруг уставки, а время регулирования составляет 41,4 секунды, что отражает достаточно быструю стабилизацию системы. Колебательность системы (параметр μ) равна нулю, что говорит о хорошей демпфирующей способности регулятора и отсутствии повторяющихся колебаний. Таким образом, система демонстрирует высокую стабильность и быстрое достижение установленных параметров без значительных отклонений.

В таблице приведены точные числовые значения различных оценок качества, таких, как установившаяся ошибка 0,167, время нарастания 82,6 секунды и частота колебаний 0,025 рад/с. Эти показатели показывают высокую точность и предсказуемость работы регулятора в условиях промышленного процесса сушки. Результаты синтеза и анализа системы управления подтверждают, что выбранные параметры регулятора способствуют повышению эффективности процесса, а также улучшению качества конечного продукта.



a)



b)

Рисунок 5. а) переходный процесс замкнутой системы хоть и является монотонным, однако не достигает уставки, б) синтез ПИД-регулятора, качественные показатели соответствуют 96,07%.

На двух графиках представлены результаты моделирования отклика системы на входное воздействие (шаговый сигнал) с использованием передаточной функции TF4.

А) Первый график показывает медленное увеличение отклика системы по сравнению с установленным шаговым сигналом. Система достигает примерно 60% от заданного значения за первые 50 единиц времени. Этот график демонстрирует медленное нарастание системы, которая нуждается в более точной настройке для достижения желаемого быстрого действия. Данный контур без регулятора создан для анализа первичных характеристик.

Второй график демонстрирует быстрый отклик системы, где выходной сигнал достигает уставки и стабилизируется с минимальным перерегулированием. Отклик TF4 практически совпадает с шаговым сигналом, что говорит о хорошем контроле и стабильности системы. Время регулирования значительно меньше по сравнению с первым графиком, что указывает на более эффективную настройку системы управления.

Эти результаты показывают, что при правильной настройке ПИД-регулятора система может демонстрировать быстрый и точный отклик с минимальными колебаниями, что особенно важно для обеспечения качественного управления процессом сушки.

Таблица 2. Прямые оценки качества

№	Оценка качества	Обозначение	Значение
1	Время регулирования, сек	Tset	41.4
2	Перерегулирование, %	Pov	0.821
3	Число колебаний	M	1
4	Колебательность, %	μ	0
5	Период колебаний, сек	Tosc	1.4
6	Частота колебаний, рад/с	ω_{osc}	0.025
7	Установившаяся ошибка	Ess	0,167
8	Время достижения первого максимума	Tr	124
9	Время нарастания, сек	Tr	82,6
10	Декремент затухания		0%

Заключение

В статье рассматривается технология сушки верблюжьего молока, которая играет важную роль в промышленных процессах производства молочных продуктов. Основной акцент делается на описании контура управления, который включает в себя систему датчиков, исполнительные механизмы и регуляторы, необходимые для поддержания оптимальных условий сушки. Методы управления и регулирования рассматриваются с точки зрения их эффективности в поддержании стабильности процесса и достижения требуемых параметров продукта.

Для повышения эффективности процесса сушки молока в статье также проводится идентификация объекта на основе собранных данных. Это позволяет более точно настроить параметры управления и адаптировать регулирование под специфические условия производства. Выбор оптимального регулятора является ключевым аспектом исследования, поскольку от правильного выбора зависит стабильность и экономическая эффективность процесса сушки молока. Использование современных методов управления и точной идентификации объекта позволяет улучшить качество и конкурентоспособность производимой продукции в сфере молочной промышленности.

Кроме того, для оценки качества работы системы были проведены прямые измерения основных характеристик процесса. Среди них время регулирования, перерегулирование, колебательность, частота колебаний и другие параметры, которые обеспечивают контроль над качеством и стабильностью процесса сушки. Как показали результаты моделирования, время регулирования составило 41.4 сек, перерегулирование – 0.821%, а установившаяся ошибка – 0.167. Эти показатели подтверждают высокую эффективность разработанной системы управления.

Следовательно, исследование представляет собой важный вклад в оптимизацию производственных процессов в молочной промышленности, повышая качество конечного продукта и снижая энергетические затраты.

Вклад авторов:

А.Б. Рахматуллина – участвовала в теоретическом обосновании и разработке модели механических процессов.

Ж.Ж. Омирбекова – внесла значительный вклад в разработку системы автоматического регулирования температурного режима вакуум-сублимационной сушки на основе идентификации параметров объекта.

М.Б. Толганбаева – провела анализ и обработку данных по оптимизации управления процессами.

Е.С. Тургынбеков – разработал методы контроля и мониторинга процессов.

Н.М. Тасмурзаев – отвечал за расчетные алгоритмы и программную реализацию.

Б.С. Амангельды – занимался интеграцией системы управления и тестированием её работоспособности.

Благодарность

Исследования, приведённые в данной статье, проводились в рамках реализации научных и научно-технических проектов ПЦФ BR21881957. Этот проект посвящен разработке технологии глубокой переработки и созданию оборудования для вакуум-сублимационной сушки кобыльего и верблюжьего молока, что является частью программы Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (МНВО РК).

Список литературы

1. M.J. Pikal, W.J. Mascarenhas, H.U. Akay, S. Cardon, C. Bhugra, F. Jameel, S. Rambhatla, The nonsteady state modeling of freeze drying: In-process product temperature and moisture content mapping and pharmaceutical product quality applications, *Pharm. Dev. Technol.* (2005) 17–32, <https://doi.org/10.1081/PDT-35869>.
2. W.M. El-Maghlany, A.-E.-R. Bedir, M. Elhelw, A. Attia, Freeze-drying modeling via multi-phase porous media transport model, *Int. J. Therm. Sci.* 135 (2019) 509–522
3. Barresi A.A., Pisano R., Fissore D., Rasetto V., Velardi S.A., Vallan A., Parvis M. & Galan M. 2009. Monitoring of the primary drying of a lyophilization process in vials. *Chemical Engineering and Processing*, 48, 408–423.
4. N. Daraoui, P. Dufour, H. Hammouri, A. Hottot, Model predictive control during the primary drying stage of lyophilisation, *Control Eng. Pract.* 18 (2010) 483–494.
5. Pardeshi, S.R., Deshmukh, N.S., Telange, D.R. et al. Process development and quality attributes for the freeze-drying process in pharmaceuticals, biopharmaceuticals and nanomedicine delivery: a state-of-the-art review. *Futur J Pharm Sci* 9, 99 (2023). <https://doi.org/10.1186/s43094-023-00551-8>
6. Srisuma, P., Barbastathis, G., & Braatz, R. D. (2024). Real-time estimation of bound water concentration during lyophilization with temperature-based state observers. *arXiv preprint arXiv:2407.13844*.
7. Vorhauer-Huget, N.; Mannes, D.; Hilmer, M.; Gruber, S.; Strobl, M.; Tsotsas, E.; Foerst, P. Freeze-Drying with Structured Sublimation Fronts—Visualization with Neutron Imaging. *Processes* 2020, 8, 1091. <https://doi.org/10.3390/pr8091091>
8. V.R. Koganti, E.Y. Shalaev, M.R. Berry, T. Osterberg, M. Youssef, D.N. Hiebert, F.A. Kanka, M. Nolan, R. Barrett, G. Scalzo, G. Fitzpatrick, N. Fitzgibbon, S. Luthra, L. Zhang, Investigation of design space for freeze-frying: Use of modeling for primary drying segment of a freeze-drying cycle, *AAPS PharmSciTech* 12 (2011) 854–861, <https://doi.org/10.1208/s12249-011-9645-7>.
9. M. Ramsák, J. Ravník, M. Zadravec, M. Hriberský, J. Iljaz, Freeze-drying modeling of vial using BEM, *Eng. Anal. Bound. Elem.* 77 (2017) 145–156, <https://doi.org/10.1016/j.enganabound.2017.01.011>.
10. Астром, К. Дж. и Хагглюнд, Т. (2004). Пересмотр метода пошагового отклика Циглера Николса для ПИД-регулирования // Журнал управления технологическими процессами 14.
11. Скворцов, А.В. Автоматизация управления жизненным циклом продукции: учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / А.В. Скворцов, А.Г. Схиртладзе, Д.А. Чмырь. - М.: ИЦ Академия, 2013. - 320 с.
12. Схиртладзе, А.Г. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учебник / А.Г. Схиртладзе, В.Н. Воронов, В.П. Борискин. - Ст. Оскол: ТНТ, 2013. - 600 с.
13. de Almeida Souza, G., Zanlucchi de Souza Tavares, J. J.-P., & Silva, J. R. (2020). Towards Adaptive Discrete Event Control Based on PRD, PSS and Automatic Planner. <https://doi.org/10.48011/asba.v2i1.1448>
14. Kubankov, A. N., & Kozlov, S. v. (2020). Innovative Ways to Ensure the Interoperability of a Complete Group of Processes in the Lifecycle of an Integrated Management System Based on their Synchronization. 2020 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2020. <https://doi.org/10.1109/SYNCHROINFO49631.2020.9166045>
15. Catalbas, B., Catalbas, B., & Morgul, O. (2020). Two-Legged Robot System Identification with Artificial Neural Networks. 2020 28th Signal Processing and Communications Applications Conference, SIU 2020 - Proceedings. <https://doi.org/10.1109/SIU49456.2020.9302094>

А.Б. Рахматуллина¹, Ж.Ж.Омирбекова², М.Б.Толганбаева³, Н.М.Тасмурзаев⁴

¹*Жолдасбеков атындағы Механика және машинатану институты ШЖҚ МГП*

²*Қ.Сәтбаев атындағы қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті*

³*М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті*

⁴*Әл-Фараби атындағы қазақ ұлттық университеті*

Вакуум-сублимациялық кептірудің температуралық режимін автоматты реттеу жүйесін нысан параметрлерін сәйкестендіру негізінде әзірлеу

Аңдатпа. Мақала сүтті кептіру технологиясы мен процесті басқару әдістеріне арналған. Басқару контурын сипаттауға, реттеу әдістеріне және деректер мен нысанды сәйкестендіру негізінде оңтайлы реттегішті таңдауға ерекше назар аударылды. Зерттеу барысында кептіру жүйесінің дәлдігі мен тиімділігін арттырудың әртүрлі тәсілдері қарастырылды. Температуралық деректерге негізделген параметрлік сәйкестендіруге айтарлықтай көңіл бөлініп, бұл кептіру жүйесінің динамикалық өзгерістерін дәлірек модельдеуге мүмкіндік береді. Параметрлік сәйкестендіру әдістерін қолдану процесс жағдайларына бейімделе алатын неғұрлым тиімді реттегіштерді әзірлеуге ықпал етеді. Нәтижесінде зерттеу сүт өнеркәсібіндегі өндірістік процестерді оңтайландыруға, өнімнің сапасын арттыруға және энергия шығындарын азайтуға маңызды үлес қосады.

Түйін сөздер: сүтті кептіру, басқару контуры, процесті реттеу, оңтайлы реттегіш, объектіні идентификациялау, сүт өнеркәсібі

A.B. Rakhmatullina¹, Zh.Zh.Omirbekova², M.B.Tolganbayeva³, N.M.Tasmurzaev⁴

¹*Institute of Mechanics and Engineering named after Academician U.A. Zholdasbekov*

²*Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev*

³*South Kazakhstan University named after M. Auezov*

⁴*Al-Farabi Kazakh National University*

Development of an automatic temperature control system for vacuum freeze-drying based on the identification of object parameters

Abstract. The article is devoted to the study of control methods for milk drying process, with special attention to the selection of optimal regulators based on data and parametric identification of the object. Various approaches to improve the accuracy and efficiency of the control system are considered, allowing it to be adapted to changing production conditions. The main emphasis is placed on parametric identification using temperature data to more accurately model the dynamics of the drying process. This allows the development of more efficient controllers that provide stable process control and reduced energy consumption. The presented results show that the proposed methods improve the quality of the final product and optimize the energy consumption. The study makes a significant contribution to the field of process optimization in the dairy industry, offering state-of-the-art solutions for production-specific control. These findings contribute to the competitiveness and sustainability of enterprises in this industry.

Keywords: milk drying, control loop, process regulation, optimal controller, object identification, dairy industry

References

1. Pikal M.J., Mascarenhas W.J., Akay H.U., Cardon S., Bhugra C., Jameel F., Rambhatla S. The nonsteady state modeling of freeze drying: In-process product temperature and moisture content mapping and pharmaceutical product quality applications, *Pharm. Dev. Technol.* (2005) 17–32, <https://doi.org/10.1081/PDT-35869>.
2. El-Maghlany W.M., Bedir A.-E.-R., Elhelw M., Attia A. Freeze-drying modeling via multi-phase porous media transport model, *Int. J. Therm. Sci.* 135 (2019) 509–522.
3. Barresi A.A., Pisano R., Fissore D., Rasetto V., Velardi S.A., Vallan A., Parvis M., Galan M. Monitoring of the primary drying of a lyophilization process in vials. *Chemical Engineering and Processing*, 48 (2009) 408–423.
4. Daraoui N., Dufour P., Hammouri H., Hottot A. Model predictive control during the primary drying stage of lyophilisation, *Control Eng. Pract.* 18 (2010) 483–494.
5. Pardeshi S.R., Deshmukh N.S., Telange D.R., et al. Process development and quality attributes for the freeze-drying process in pharmaceuticals, biopharmaceuticals and nanomedicine delivery: a state-of-the-art review. *Futur J Pharm Sci* 9, 99 (2023). <https://doi.org/10.1186/s43094-023-00551-8>.
6. Srisuma P., Barbastathis G., Braatz R.D. Real-time estimation of bound water concentration during lyophilization with temperature-based state observers. *arXiv preprint arXiv:2407.13844* (2024).
7. Vorhauer-Huget N., Mannes D., Hilmer M., Gruber S., Strobl M., Tsotsas E., Foerst P. Freeze-Drying with Structured Sublimation Fronts—Visualization with Neutron Imaging. *Processes* 2020, 8, 1091. <https://doi.org/10.3390/pr8091091>.
8. Koganti V.R., Shalaev E.Y., Berry M.R., Osterberg T., Youssef M., Hiebert D.N., Kanka F.A., Nolan M., Barrett R., Scalzo G., Fitzpatrick G., Fitzgibbon N., Luthra S., Zhang L. Investigation of design space for freeze-frying: Use of modeling for primary drying segment of a freeze-drying cycle, *AAPS PharmSciTech* 12 (2011) 854–861. <https://doi.org/10.1208/s12249-011-9645-7>.
9. Ramsak M., Ravnik J., Zadavec M., Hribersk M., Iljaz J. Freeze-drying modeling of vial using BEM, *Eng. Anal. Bound. Elem.* 77 (2017) 145–156. <https://doi.org/10.1016/j.enganabound.2017.01.011>.
10. Astrom K.J., Hagglund T. Peresmotr metoda poshagovogo otklika Tsiglera-Nikolsa dlya PID-regulirovaniya, *Zhurnal upravleniya tekhnologicheskimi protsessami*, 14 (2004).
11. Skvortsov A.V., Skhirtladze A.G., Chmyr D.A. Avtomatizatsiya upravleniya zhiznennym tsiklom produktsii: Uchebnik dlya studentov uchrezhdeniy vysshego professional'nogo obrazovaniya. Moskva: ITs Akademiya, 2013. - 320 s.
12. Skhirtladze A.G., Voronov V.N., Boriskin V.P. Avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsessov v mashinostroenii: Uchebnik. Stary Oskol: TNT, 2013. - 600 s.
13. de Almeida Souza G., Zanlucchi de Souza Tavares J.J.-P., Silva J.R. Towards Adaptive Discrete Event Control Based on PRD, PSS and Automatic Planner. <https://doi.org/10.48011/asba.v2i1.1448> (2020).
14. Kubankov A.N., Kozlov S.V. Innovative Ways to Ensure the Interoperability of a Complete Group of Processes in the Lifecycle of an Integrated Management System Based on their Synchronization. *Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO* 2020. <https://doi.org/10.1109/SYNCHROINFO49631.2020.9166045>.
15. Catalbas B., Catalbas B., Morgul O. Two-Legged Robot System Identification with Artificial Neural Networks. *Signal Processing and Communications Applications Conference, SIU* 2020. <https://doi.org/10.1109/SIU49456.2020.9302094>.

Сведения об авторах:

А.Б. Рахматуллина – PhD, доцент, Институт механики и машиноведения имени академика У.А. Жолдасбекова, отдел машиноведения и робототехники, ул. Шевченко, 28, Алматы, Казахстан, 050000; Университет Иллинойса в Урбана-Шампейн, 910 S. Пятая ул., Шампейн, Иллинойс, 61820, США.

Ж.Ж. Омирбекова – автор для корреспонденции. PhD, ассоциированный профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, ул. Сатпаева, 22, Алматы, Казахстан, 050013.

М.Б. Толганбаева – докторант, Южно-Казахстанский государственный университет имени М. Ауэзова, кафедра «Автоматизация и управление», пр. Тауке хана, 5, Шымкент, Казахстан, 160012.

Н.М. Тасмурзаев – магистр технических наук, старший преподаватель, Казахский национальный университет имени аль-Фараби.

А.Б. Рахматуллина – PhD, доцент, Академик У.А. Жолдасбеков атындағы механика және машинажасау институты, машинажасау және робототехника бөлімі, Шевченко көшесі, 28, Алматы, Қазақстан, 050000; Иллинойс университеті Урбана-Шампейн, 910 S. Бесінші көше, Шампейн, Иллинойс, 61820, АҚШ.

Ж.Ж. Омирбекова – PhD, қауымдастырылған профессор, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Сәтбаев көшесі, 22, Алматы, Қазақстан, 050013.

М.Б. Толғанбаева – докторант, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, «Автоматтандыру және басқару» кафедрасы, Тәуке хан даңғылы, 5, Шымкент, Қазақстан, 160012.

Н.М. Тасмұрзаев – техникалық ғылымдар магистрі, аға оқытушы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті.

A.B. Rakhmatullina – PhD, Associate Professor, Academician U.A. Zholdasbekov Institute of Mechanics and Mechanical Engineering, Department of Mechanical Engineering and Robotics, Shevchenko St., 28, Almaty, Kazakhstan, 050000; University of Illinois at Urbana-Champaign, 910 S. Fifth St., Champaign, Illinois, 61820, USA.

Zh.Zh. Omirbekova – PhD, Associate Professor, Satbayev University, Satpayev St., 22, Almaty, Kazakhstan, 050013.

M.B. Tolganbayeva – PhD student, M. Auezov South Kazakhstan State University, Department of "Automation and Control," Tauke Khan Avenue, 5, Shymkent, Kazakhstan, 160012.

N.M. Tasmurzayev – Master of Technical Sciences, Senior Lecturer, Al-Farabi Kazakh National University.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 55.38.29

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-149-4-381-397>

Обзорная статья

Малые модульные реакторы. Их место в энергосистеме Казахстана

К.Ж. Аусенов¹, Т.М. Жанткин¹, А.А.Жанбирбаев¹, Н.А.Карджаубаев²,
М.К.Мукушева*³, Р.К. Окасов¹

¹ТОО «Казахстанские атомные электрические станции»

²АО «Казахстанская компания по управлению электрическими сетями»

³РГП «Национальный ядерный центр РК» МЭ РК

(E-mail: *mairak@list.ru)

Аннотация. Казахская энергетика сталкивается с серьезными проблемами, такими, как высокий уровень загрязнения от сжигания угля, дефицит электроэнергии и износ оборудования электрических станций. Решение может быть найдено в использовании возобновляемых источников энергии, строительстве атомных электростанций и развитии электрических сетей.

В последние годы в мировой энергетике многие страны проявляют огромный интерес к малым модульным реакторам, который обусловлен желанием уменьшить начальные капитальные затраты, так и возможностью обеспечения электроснабжением в изолированной энергосистеме.

Энергосистема Казахстана состоит из 3 зон: Северной, Южной и Западной. Западная зона работает изолированно от ЭЭС РК. Учитывая, что весь нефтегазовый сектор находится в данном регионе, необходимо обеспечить устойчивую работу электроснабжения субъектов. Анализ энергетического баланса запада показывает, что существующие мощности в перспективе не в состоянии покрыть растущие потребности [1]. Таким образом, отсутствие альтернативы строительства энергоисточников на углеводородном сырье в связи с необходимостью сокращать углеродный след, а также перспектива присоединения Западной зоны к ЭЭС РК позволяет применять энергоблоки мощностью более 300 МВт, что обеспечит бесперебойность электроснабжения региона и покроет дефицит энергосистемы.

В статье рассматривается проект «Безуглеродный энергокомплекс», который предусматривает строительство комплекса возобновляемой энергетики – ветряных и солнечных станций, объединенных с атомной электростанцией на базе малых модульных реакторов и использование систем накопления энергии.

В статье будут рассмотрены преимущества и недостатки рассматриваемых проектов малых модульных реактор (ММР), возобновляемых источников энергии (ВИЭ), накопителей энергии, и Smart grid, а также обоснованность и возможность реализации в Республике Казахстан проекта «Безуглеродный энергокомплекс».

Ключевые слова: атомная электростанция, малые модульные реакторы, безуглеродный энергокомплекс, возобновляемые источники энергии, ветровая энергетика, солнечная энергетика, гибридная генерация.

Поступила 03.09.2024. Доработана 18.12.2024. Одобрена 18.12.2024. Доступна онлайн 31.12.2024

¹*автор корреспонденции

Введение

Стратегией «Казахстан – 2050»: новый политический курс состоявшегося государства» были поставлены четкие ориентиры на построение устойчивой и эффективной рыночной модели экономики при переходе страны на "зеленый" путь развития [2].

Долгосрочное видение перехода к "зеленой экономике" для Казахстана актуально для всех ключевых секторов экономического развития, включая электроэнергетику.

Развитие сектора электроэнергетики будет направлено на достижение углеродной нейтральности за счет увеличения доли возобновляемых источников энергии (далее – ВИЭ), а также развития технологий улавливания и хранения углерода (далее – УХУ) с постепенным сокращением угольной электрогенерации [2].

Одним из широко распространённых путей развития «зеленой экономики» в энергетическом секторе является гибридная система генерации, основанная на использовании преимуществ традиционных и альтернативных источников энергии. Гибридная генерация является эффективным и безболезненным способом перехода от сугубо традиционной генерации к генерации на основе ВИЭ [3-5].

Технический комплекс гибридной генерации «Безуглеродный энергокомплекс», рассматриваемый в статье, включает ВИЭ, совмещенные с АЭС на базе ММР и использованием накопителей энергии, совместная работа которых оптимизируется согласно графику нагрузки с помощью использования цифровой системы управления на базе технологии «умных сетей» (smart grid).

Согласно определению Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), к малым модульным реакторам относятся реакторы мощностью до 300 МВт, состоящие из модулей, которые перед доставкой и монтажом на площадке изготавливаются на заводе.

Малая энергетическая мощность ММР традиционно рассматривалась как недостаток в контексте принципа «экономии за счет масштаба». Однако учитывая модульность, упрощенный дизайн и применение пассивных систем безопасности, суждение об экономической эффективности исключительно на основе этого принципа может быть не совсем корректно.

Модульность реакторной установки приносит ряд потенциальных преимуществ. Во-первых, заводское изготовление деталей повышает качество компонентов, сокращает сроки строительства и обслуживания, а также обеспечивает безопасность процесса. Во-вторых, функциональные и системные испытания на заводе значительно сокращают время строительства станции, особенно при степени модульности выше 60%. Кроме того, поэтапное наращивание числа модулей при строительстве станции благоприятно влияет на экономику атомной энергетики, позволяя использовать доход от запуска первых реакторов для сокращения первоначальных инвестиций и потребности в кредитах. АЭС на базе ММР также предоставляют более гибкое управление мощностью станции и возможность размещения нескольких независимых модулей на одной площадке, что позволяет оптимизировать расходы и уменьшить общие эксплуатационные расходы. Увеличение количества модулей также снижает удельные затраты на вывод из эксплуатации, обеспечивая дополнительную экономию.

В Казахстане значительным из ВИЭ является потенциал ветровой и солнечной энергии. Примерно на 50% территории Казахстана средняя скорость ветра составляет 4-5 м/секунду на высоте 30 м, а годовая длительность солнечного света составляет 2200-3000 часов, а оцениваемая мощность 1300-1700 кВт на 1 м² в год, что превышает аналогичные показатели стран Европы. Наиболее высокий ветровой и солнечный потенциал имеется в районе Каспийского моря – в Атырауской и Мангистауской областях, а также перспективными районами для развития ветроэнергетики являются Алматинская, Акмолинская, Жамбылская области. По данным Концепции развития топливно-энергетического комплекса Республики Казахстан до 2030 года, ветровой потенциал Казахстана составляет 920 миллиардов кВтч/год, а солнечной потенциал – 2,5 миллиардов кВтч/год [6].

Для обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей в периоды маловетренной (безветренной) и облачной погоды автономные или небольшие ВЭС и СЭС (работающие на автономную сеть) используются совместно с накопителями (аккумуляторные батареи) с резервированием мощности.

Для реализации проекта «Безуглеродный энергокомплекс», включающий в себя как ВИЭ, так и АЭС вместе с накопителями энергии, необходима система «умной диспетчеризации» (smart grid) для эффективного управления элементами энергокомплекса в соответствии и с учетом запросов Системного оператора.

Методология

Проект «Безуглеродный комплекс». Перспективы и возможности малых модульных реакторов в Казахстане

Ежегодно казахстанские ТЭЦ и ГРЭС для получения электроэнергии сжигают около 60 миллионов тонн угля. Выбросы станций разрушительно действуют на экологическую обстановку, а загрязненность воздуха жители мегаполисов с недовольством ощущают на себе. Учитывая, что 78% казахстанской энергии вырабатывается за счет сжигания угля, ситуация будет только ухудшаться.

По состоянию на 1 января 2024 года объем общей располагаемой мощности составил 20,4 ГВт при рабочей мощности 15,4 ГВт. Максимум потребления в текущий осенне-зимний период составил 16,6 ГВт, а максимум генерации – 15,1 ГВт [6]. Таким образом, дефицит электроэнергетической мощности составил 1,5 ГВт.

Тренд на увеличение энергодефицита в стране будет продолжаться. Согласно утвержденного баланса мощности к 2030 году при необходимом уровне резерва 17% потребность электрической мощности составит 28,2 ГВт. При этом располагаемая мощность с учетом ввода новых мощностей составит 22 ГВт. Объем дефицита электрической мощности в Единой электроэнергетической системе РК даже с учетом ввода порядка 4 ГВт новых мощностей превышает 6 ГВт [7].

Потребность в новых мощностях может оказаться выше в случае более интенсивного внедрения цифровых технологий, электрификации транспорта, индустриализации и т.п.

Проблема усугубляется износом генерирующего оборудования на ГРЭС и ТЭЦ. В настоящее время более половины эксплуатируемого генерирующего оборудования находится в работе свыше 30 лет. Данный фактор сказывается на показателях аварийности электростанций и на их КПД. Износ мощностей по станциям составляет около 70%. Дефицит мощности в настоящее время покрывается за счет внеплановых перетоков от сопредельных государств, что ставит под угрозу энергетическую безопасность страны.

Из прогнозного баланса Республики Казахстан следует, что к 2030 году в Западной зоне прогнозируется дефицит в размере 864 МВт [1]. Наиболее перспективной с точки зрения выработки электрической энергии в децентрализованных зонах является гибридная система с несколькими источниками электрической энергии, использующими не менее двух разных технологий производства электроэнергии.

Гибридизация является самым верным решением для устойчивой трансформации традиционной энергосистемы Западного Казахстана в энергосистему, основанную на ВИЭ, ММР при плавном и максимально эффективном использовании существующей энергоинфраструктуры локальной энергетики.

Соответственно, в целях снижения данного дефицита актуальным является реализация проекта «Безуглеродный энергокомплекс» с установленной мощностью до 800 МВт в Атырауской области (далее – Энергокомплекс).

В планах АО «KEGOC» до 2040 года имеются перспективные проекты по объединению энергосистемы Западного Казахстана с ЭЭС Казахстана.

Проекты АО «KEGOC» открывают перспективы для атомной генерации Западного энергоузла для покрытия дефицита мощности по сетям АО «KEGOC» в Южном регионе Казахстана.

Результаты и Обсуждение

Малые модульные реакторы

Для большинства ММР характерна интегральная компоновка реакторной установки, при которой активная зона, парогенератор, компенсатор давления и ряд других видов оборудования собраны в едином корпусе – моноблоке, изготавливаемом в заводских условиях и поставляемом в готовом виде на площадку. Данная особенность компоновки не только облегчает транспортировку и положительно сказывается на капитальных затратах, но и в целом повышает внутреннюю самозащищенность реакторной установки.

Более высокий уровень безопасности ММР по отношению к внешним воздействиям природного и техногенного характера иногда достигается за счет подземного размещения реакторной установки.

Для использования в проекте «Безуглеродный энергокомплекс» нами рассматриваются два ММР американской разработки – BWRX-300 и ММР NuScale.

ММР BWRX-300

BWRX-300 – это малый модульный реактор мощностью 300 МВт электрической мощности и 870 МВт тепловой мощности с естественной циркуляцией теплоносителя,

водяным охлаждением и пассивными системами защиты. BWRX-300 является эволюционным продолжением американских реакторов ESBWR-1520, лицензированных Комиссией США по ядерному регулированию (NRC). Он предназначен для гибкой выработки чистой энергии в течение 60 лет, которая может конкурировать по стоимости с установками на природном газе.

Разработкой данного реактора в США занималась компания «GE-Hitachi Nuclear Energy» (GEN), а в Японии – «Hitachi GE Nuclear Energy» (HGNE).

BWRX-300 позиционируется как десятое поколение кипящих реакторов (BWR) и обладает простой и инновационной конструкцией.

Несмотря на то, что конструкция BWRX-300 в основном соответствует традиционным кипящим реакторам на легкой воде – BWR, она включает в себя несколько технических конструктивных особенностей, таких, как система естественной циркуляции воды, подземное размещение реактора и большое количество новшеств в системах безопасности.

Маневренность BWRX-300 позволяет ежедневно отслеживать нагрузку, что может быть использовано, например, для компенсации влияния на сеть переменной возобновляемой энергии. Функция отслеживания нагрузки находится в диапазоне от 50 до 100% номинальной мощности реактора со скоростью разгона до $\pm 0,5\%$ в минуту. Использование BWRX-300 для регулирования частоты нежелательно.

При работе в маневренном режиме требуется проведение предварительной подготовки топлива с учетом конкретной специфики эксплуатации.

Для BWRX-300 опционально выбирается 12- или 24-месячный цикл перегрузки. Продолжительность перегрузки, согласно данным GE-Hitachi, должна составлять 10-20 дней для 12-24 месячного цикла перегрузки.

BWRX-300 полностью соответствует определению МАГАТЭ «проверенной технологии», так как большинство ядерных технологий и компонентов, используемых в проекте BWRX-300, либо имеют многолетний опыт реальной эксплуатации, либо прошли всесторонние испытания и лицензирование в рамках проекта ESBWR.

BWRX-300 проходит лицензирование в нескольких странах. В США и Канаде ведутся мероприятия по лицензированию дизайна реактора, а в Великобритании BWRX-300 завершил оценку зрелости технологии, финансируемую министерством по делам бизнеса, энергии и промышленной стратегии (BEIS). Регуляторная деятельность по лицензированию в других странах начнется по мере необходимости и по мере развития соответствующей коммерческой деятельности.

В рамках процедуры лицензирования в NRC (Комиссия по ядерному регулированию США) и в CNSC (Комиссия по ядерной безопасности Канады) поданы первые тематические отчеты.

MMP NuScale

NuScale – малый модульный реактор интегрального типа с водой под давлением. Электрическая мощность энергомодуля (далее – NPM) составляет 77 МВт при тепловой мощности 200 МВт. Срок службы MMP NuScale составляет 60 лет.

Проект малого модульного реактора NuScale возник в результате исследований, проведенных в Университете штата Орегон. Концепция была разработана доктором Хосе Рейесом (José Reyes), профессором ядерной инженерии, который стал сооснователем компании NuScale Power в 2007 году. На раннем этапе разработка технологии NuScale поддерживалась финансированием Министерства энергетики США (DOE), которое предоставило гранты на первоначальные исследования и разработки.

Каждый модульный реактор работает независимо в мультимодульной конфигурации. Возможно контролировать и управлять до 12 модулей из одной диспетчерской.

Маневренность MMP NuScale в режиме для отслеживания суточного графика нагрузки осуществлена в диапазоне от 20% до 100% со скоростью набора мощности 0,7% в минуту и снижения мощности 3,3% в минуту.

Также стоит отметить, что конструкция NuScale предусматривает три различных варианта маневрирования: обход подачи пара на турбину с помощью байпасных клапанов, регулирование мощности стержнями СУЗ и посредством отключения модулей.

В системе охлаждения NPM используется естественная циркуляция под действием силы тяжести во всех режимах: нормальном, переходном, останове и аварийном.

Охлаждение реактора может поддерживаться неопределенное количество времени и не требует вмешательства оператора – данный эффект достигается за счет использования пассивных систем и бассейна реактора.

За счет меньшей энергонапряженности реактора, упрощения конструкции, наличия пассивных систем безопасности в NuScale удалось снизить размер зоны аварийного планирования со стандартных 10 миль до границы площадки.

Подземное размещение станции способствует как физической, так и радиационной защите. Топливный цикл реактора NPM составляет 24 месяца. Продолжительность перегрузки составляет 10 дней.

В августе 2020 года конструкция NuScale 50 МВт была утверждена NRC.

NuScale Power также заключила соглашения о развертывании MMP в таких странах, как Польша, Румыния, Чешская Республика и Иордания, включая окончательное соглашение с польским производителем меди и серебра KGHM Polska Miedź SA о работе над развертыванием первой установки VOYGR в Польше также в 2029 году.

Оценка технологий малых модульных реакторов в соответствии с системой критериев реакторных технологий.

Для сравнительной оценки предложенных технологий была разработана система критериев оценки, основанная на рекомендациях МАГАТЭ и казахстанских нормативных документах. [8]

Оценка осуществлялась по балльной системе в 10 баллов для каждого критерия. В случае неполного или полного несоответствия критерию баллы уменьшались или обнулялись. При превышении установленных параметров оценки баллы добавлялись. Дополнительно прибавлялось по одному баллу за каждый реактор, находящийся в процессе строительства или уже находящийся в эксплуатации.

Критерии, которым потенциально соответствуют все проекты реакторов, имеют сниженный вес 0,5.

Кроме того, с учетом того, что современные реакторы проектируются с соблюдением высоких требований по безопасности, ожидается соответствие этих проектов критериям наличия защиты от внешних воздействий, радиационной безопасности персонала и населения. Проектируемая защита от внешних воздействий большинства проектов реакторов способна выдержать падение тяжелого самолета и экстремальные воздействия природного характера, а проектные дозы находятся в пределах норм, либо намного ниже нормативных требований. В этой связи этим критериям также присвоен вес 0,5.

С другой стороны, важными критериями являются критерии соответствия заданному мощностному диапазону, а также характеризующие проработанность проекта – наличие лицензий и референтность. Эти критерии имеют больший вес – 1,5.

Для оценки нормированного соответствия рассматриваемых проектов системе критериев выполнено умножение баллов, полученных при ранжировании каждого критерия по соответствующему ему весу.

Проведена оценка и ранжирование реакторных технологий ММР на основе их актуализированных необязывающих технико-коммерческих предложений в соответствии с разработанной системой оценочных критериев.

Оценки и ранжирование выполнены на основе представленных вендорами данных необязывающих технико-экономических предложений, содержащих показатели рассмотренных технологий без учета других (например, политических) факторов, которые могут оказать влияние на выбор поставщика АЭС. Следовательно, в работе при оценке проектов не рассмотрены такие существенные риски, как:

- доступ к мировой цепочке поставок и оборудованию мировых поставщиков;
- риски сбоя поставок качественного оборудования;
- санкционные риски;
- валютные риски.

Получены следующие результаты:

1. NuScale VOYGR (США) – **203 баллов;**
2. BWRX-300 (США, Япония) – **186 баллов.**

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ)

Анализ ветрового потенциала Западной области

Предварительные данные по ветровому и солнечному потенциалу рассматриваемого района размещения [9-11]:

1. Среднегодовая скорость ветра составляет на высотах:
 - 10 м – 4,6 м/с (флюгер);
 - 50 м – 5,7 м/с;
 - 100 м – 6,6 м/с.

2. Среднегодовое количество штилей на высоте флюгера – 19 дней, на высоте от 50 до 100 м – 11 дней.

3. Преобладающие направления ветра северный, северо-восточный, восточный и юго-восточный. Среднегодовое количество штилей – 11 дней.

В годовом разрезе по району преобладают ветры юго-восточного направления, имеющие повторяемость 23%. Наименьшую повторяемость имеют ветры Юг, ЮЗ и Западных направлений, в сумме имеющие повторяемость 19%. Штили составляют 9%. Во все месяцы года, исключая летние, преобладают ветры юго-восточного направления, летом преобладают ветры северного направления, имеющие повторяемость 22%.

Указанный район характеризуется умеренной ветровой нагрузкой со средней скоростью ветра на высоте флюгера несколько ниже необходимой для размещения ВЭС большой мощности.

В настоящее время ведущие производители мира освоили выпуск ВЭС мощностью от нескольких сотен киловатт до нескольких мегаватт. Наибольшее распространение из установок, подсоединяемых к сети, получили ВЭС со средней единичной мощностью до 2 МВт. Наряду с этим на серийный уровень выходят установки до 2-3 МВт и более.

Для предварительных оценок в качестве ветровой энергоустановки для размещения на площадке в составе ВЭС рассмотрена типовая ВЭС лопастного типа со следующими основными характеристиками:

- установленная электрическая мощность – 2,1 МВт при расчетной скорости ветра 13 м/с;
- диаметр ротора 114 м;
- высота башни 100 м.

Для предварительных оценок принимаем среднюю скорость ветра на высоте оси ротора (~ 100 м) равной 6,6 м/с. При заданной средней скорости ветра (исходя из кубической зависимости мощности от скорости ветра) и с учетом повышающего коэффициента 1,91 (учитывающего реальное распределение скоростей в разрезе года при предварительных оценках) средняя мощность рассматриваемой ВЭС составит примерно 840 кВт. Таким образом, коэффициент использования установленной мощности (КИУМ), заданной ВЭС, составляет 40 %.

Надежность электроснабжения потребителей и высокое качество поставляемой электроэнергии являются на данный момент одним из основных требований к энергоисточникам централизованных и децентрализованных энергосистем.

В связи с этим в проекте Энергокомплекса планируется использование системы накопления энергии (СНЭ). Ниже приведен график согласования генерации ВЭС с графиком нагрузки для более точной информации о совместной работе СНЭ с ВЭС.

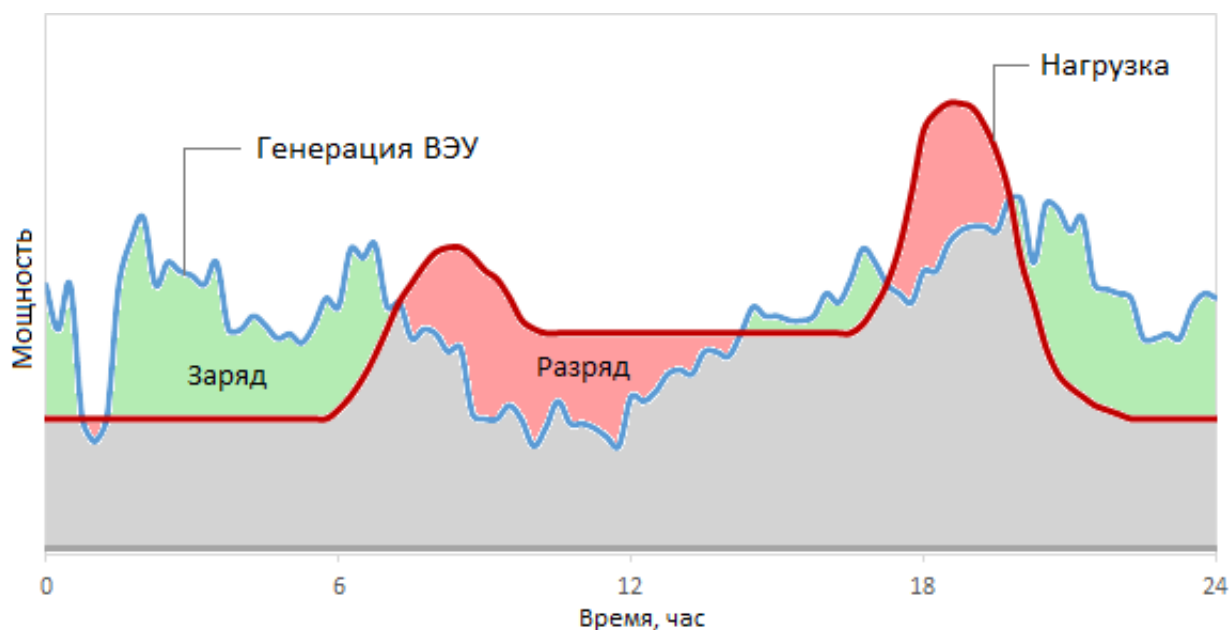


Рисунок 1. График потребления мощности при параллельной работе СНЭ с ветровой электростанцией.

Основная проблема ветрогенерации – неравномерность и непредсказуемость графика генерируемой мощности. СНЭ позволяет согласовать график выдаваемой в нагрузку мощности с типовым графиком потребления, заряжая СНЭ в период генерации и разряжая в период дефицита генерируемой мощности.

Кроме того, СНЭ позволяет предотвратить колебания режимных параметров (напряжения, частоты – в случае изолированной энергосистемы), к которым приводят резкие изменения мощности, генерируемой ВЭУ.

Анализ солнечного потенциала Западной области

Предварительные данные по солнечному потенциалу рассматриваемого района размещения показали, что за многолетний период среднегодовая температура воздуха составила 11,2 °С. В годовом ходе температуры воздуха самым холодным месяцем является январь – минус 2,6°С, наиболее теплым – июль – плюс 37°С [9].

Солнечная энергетика является более регулируемым и прогнозируемым источником энергии, чем ВЭС. Выработка СЭС зависит от сезона. Соответственно, выдача электроэнергии с СЭС отличается неравномерностью как в суточном, так и в недельном, месячном, годовом и многолетнем разрезе.

Как и ранее было сказано, в проекте Энергокомплекса планируется использовать СНЭ. Ниже приведен график согласования генерации солнечной электростанции с графиком нагрузки для более точной информации о совместной работе СНЭ с СЭС.

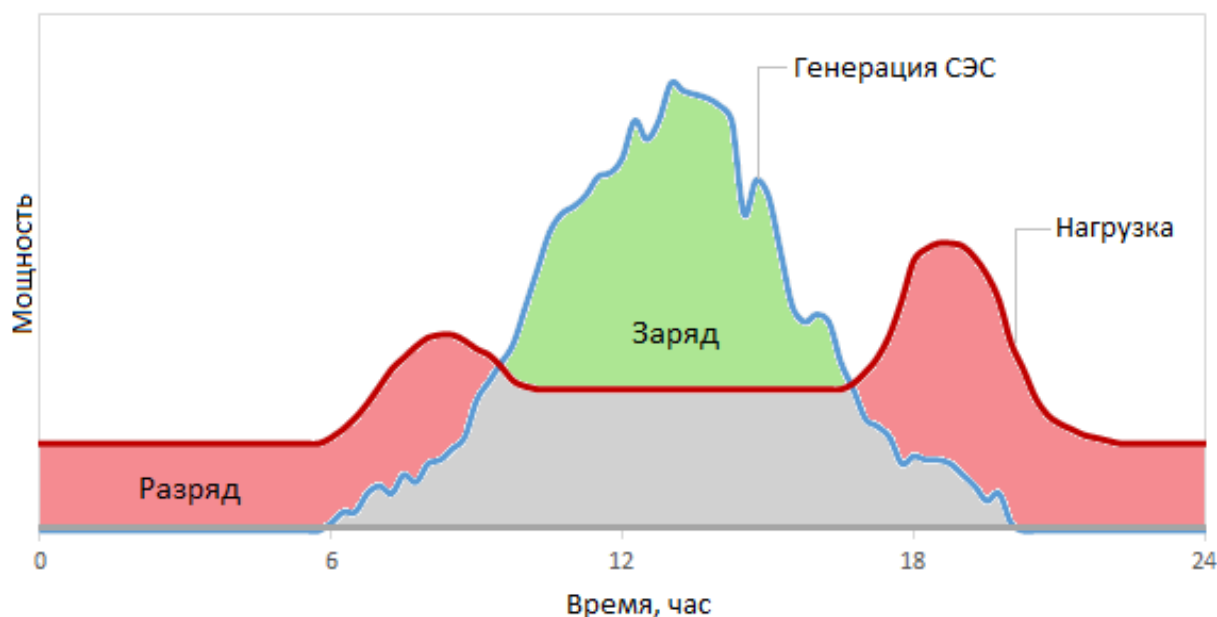


Рисунок 2. График потребления мощности при параллельной работе СНЭ с солнечной электростанцией.

Основная проблема солнечной генерации – неравномерность графика генерируемой мощности, его зависимость от времени суток и от погодных условий. Применение СНЭ позволяет согласовать график мощности, выдаваемой в нагрузку, с графиком потребления. При этом СНЭ заряжаются в период избыточной генерации и разряжаются в период дефицита генерируемой мощности.

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод, что солнечный потенциал Западного Казахстана большой. В зависимости от установленной мощности станции генерация СЭС в жаркие летние дни достигает 80%, а зимние дни 50%.

Системы накопления энергии

Система накопления электрической энергии (СНЭ) предназначена для накопления, хранения электрической энергии и отдачи ее в сеть или нагрузку с целью поддержания функционирования энергосистемы, повышения эффективности ее работы и обеспечения требуемого качества электрической энергии. СНЭ – многофункциональное устройство, способное управлять активной и реактивной мощностью, а также компенсировать несинусоидальный ток и несимметрию трёхфазной системы. Возможности СНЭ позволяют решать широкий ряд задач, актуальных как для объектов, подключенных к единой энергосистеме (далее – сеть), так и для объектов с автономным энергоснабжением (изолированных энергосистем с ВИЭ или другими источниками энергии).

Существуют разные режимы работы СНЭ [12]:

- а) режим заряда (приема мощности из сети);
- б) режим параллельной работы с сетью на нагрузку (режим источника мощности);

- в) автономный режим;
- г) режим выдачи мощности в сеть.

Применение СНЭ позволяет согласовать график мощности, выдаваемой в нагрузку, с графиком потребления. При этом СНЭ заряжаются в период избыточной генерации и разряжаются в период дефицита генерируемой мощности.

Кроме того, СНЭ позволяет предотвратить колебания режимных параметров (напряжения, частоты – в случае изолированной энергосистемы), к которым приводят резкие изменения мощности, генерируемой ВЭУ.

Установка СНЭ в энергосистеме позволяет переложить на нее функции согласования графиков нагрузки и генерации ВИЭ. При этом ММР может работать в «базовом режиме», постоянно отдавая в нагрузку установленную мощность. За счет этого обеспечивается минимизация удельного расхода топлива и моторесурса.

Кроме того, СНЭ может выступать как источник высокоманевренной резервной мощности, решая проблемы динамической устойчивости межсистемных перетоков.

В режиме параллельной работы с энергосистемой, где рассматривается данный проект, при выдаче/приеме постоянной мощности происходит разряд (заряд) аккумуляторной батареи подсистемы накопления СНЭ. При достижении критических значений степени заряженности СНЭ может отключиться по аварии, при этом возникнет резкий скачок мощности в сети, что негативно повлияет на стабильную работу сети в целом.

В проекте «Безуглеродный энергокомплекс» рассматривается возможность использования системы накопления энергии мощностью порядка 300 МВт.

Технологии «умной автоматики» Smart Grid

Безуглеродный энергокомплекс можно рассматривать как виртуальную электростанцию в концепции распределенной генерации с использованием технологии «умной автоматики» (smart grid). Система умной диспетчеризации энергоисточников вместе с общим использованием ими отдельных компонентов комплекса позволит оптимизировать технические и экономические показатели, в первую очередь, ВИЭ, и обеспечит высокое качество выдаваемой в национальную сеть электроэнергетики.

Предлагаемый функционал автоматики управления режимом параллельной работы энергокомплекса с сетью внешней энергосистемы обеспечит безопасный и надежный режим электрической сети для объектов распределенной генерации. В проекте «Безуглеродный энергокомплекс» рассматривается совместное функционирование ВИЭ, ММР и СНЭ через каналы связи, соединяясь с интеллектуальной автоматикой, и тем самым обеспечивая надежную работу как в автономном режиме, так и в параллельном.

Заключение

Концепцией перехода Республики Казахстан к зелёной экономике предусмотрено

увеличение доли альтернативных источников энергии до 50% к 2050 году [1]. Возобновляемая энергетика (ВИЭ) имеет свою нишу в энергосистеме, но не может гарантированно обеспечить бесперебойную энергию. Достичь целей устойчивого развития и перехода к безуглеродной «зеленой» экономике возможно только с помощью надежной базовой энергетике страны. Энергетическая безопасность страны может быть достигнута только бесперебойными источниками энергии, которые обеспечивают энергию 24/7.

В этих условиях одним из перспективных направлений является интеграция АЭС и ВИЭ в единый энергокомплекс, что позволяет снизить негативные экономические показатели ВИЭ и эффективно компенсировать как экономические потери, так и технические недостатки ВИЭ, связанные с нестабильностью генерации.

Авторами предлагается рассмотреть возможность использования ММР реакторов в системах гибридной генерации, где атомные энергоблоки совмещены с ВИЭ. Это позволяет демпфировать негативные технические и экономические параметры ВИЭ на уровне такого энергокомплекса.

Безуглеродный энергокомплекс может быть размещен в разных регионах Казахстана в зависимости от потребности в энергии, доступности необходимых ресурсов (например, воды для охлаждения), инфраструктуры и т.д. При этом данные реакторы могут стать альтернативой выбывающим источникам угольной генерации и использованы также в теплоснабжении.

В Казахстане атомные реакторы малой мощности могли бы бесперебойно снабжать экологически чистой электроэнергией нефтяные и газовые платформы на Каспии, а также труднодоступные населенные пункты, где по техническим или экономическим соображениям невозможно наладить производство электроэнергии другими способами.

ВИЭ большой мощности наиболее целесообразно использовать в составе большой энергосистемы, которая компенсирует нестабильность работы ВИЭ за счет резерва мощностей. Учитывая, что энергосистема сама имеет неоднородности энергонагрузки (пики и провалы энергопотребления), регулировать которые объекты ВИЭ не сможет, введение значительной доли ВИЭ в энергосистему способствует ее дестабилизации. Проблемы в сетях и диспетчеризации энергосистем из-за нестабильности работы ВИЭ начинаются после достижения ими доли свыше 20 % от общей установленной мощности энергосистемы. По имеющимся данным, зарубежные энергосистемы не всегда охотно подключают ВИЭ к энергосетям, что привело к появлению законодательных актов, обязывающих их это делать.

Реализация энергокомплекса позволит обеспечить высокую надежность вырабатываемой электроэнергии, выдаваемой комплексом в энергосистему, за счет локального балансирования генерации блоков (элементов) комплекса, а также улучшить технико-экономические показатели ВИЭ. Энергокомплекс можно рассматривать как виртуальную электростанцию в концепции распределенной генерации. Виртуальная электростанция представляет собой систему, которая управляет распределенными энергоресурсами так, чтобы они действовали как одно целое, обеспечивая гибкость, эффективность и снижение затрат.

Работа выполнена в рамках проекта МНТЦ К-2779 «Development of a Prefeasibility Study for a Conceptual Project of a Carbon-Free Power Complex Consisting of Renewable Energy Technologies Combined with Small Modular Reactors» и в рамках научно-технической программы «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» (ИРН – BR24792713).

Вклад авторов

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Аусенов К.Ж. – обзор и анализ перспективных технологий ММР.

Жанткин Т.М. – научное руководство проектными исследованиями, обсуждение результатов.

Жанбирбаев А.А. – обзор и анализ возобновляемых источников энергии.

Карджаубаев Н.А. – обзор и анализ энергетических сетей, систем хранения энергии.

Мукушева М.К. – участие в постановке задачи аналитических исследований, обсуждение результатов, написание и редактирование статьи.

Окасов Р.К. – обзор и анализ цифровых систем управления (технология smart grid).

Список литературы

1. Приказ Министра энергетики Республики Казахстан от 11 января 2024 года № 11 «Об утверждении прогнозных балансов электрической энергии и мощности в единой электроэнергетической системе Республики Казахстан на период с 2024 по 2030 годы».
2. Указ Президента Республики Казахстан «О концепции по переходу республики Казахстан к "зеленой экономике"» от 30 мая 2013 года № 577.
3. Коваленко Е.В., Тягунов М.Г. Гибридные энергетические комплексы с когенерацией в изолированных энергетических системах // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). 2015;(10-11):167-177. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2015.10-11.015>
4. Васьяков А.Г., Коваленко Е.В., Тягунов М.Г., Шарапов С.А. Использование гибридных энергокомплексов на основе возобновляемых источников энергии в распределенной энергетике // Энергетик. 2014. № 2. С. 25-27.
5. Мартынов А.В. Децентрализованные системы теплоснабжения // Новости теплоснабжения. 2006. № 7. С. 24-27.
6. Постановление Правительства «Об утверждении Концепции развития топливно-энергетического комплекса Республики Казахстан на 2023-2029 годы» от 28 июня 2014 года № 724.
7. Отчет министра энергетики Республики Казахстан <https://primeminister.kz/ru/news/mine-nergo-razrabotal-plan-meropriyatiy-po-razvitiyu-elektroenergeticheskoy-otrasli-budut-vvedeny-26-gvt-novykh-generiruyushchikh-moshchnostey-26978>
8. Нормы МАГАТЭ по безопасности [Электрон.ресурс] <https://www.emd-international.com/windpro/windpro-modules/4-0-features/>
9. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ [Электрон.ресурс]
10. <https://stat.gov.kz/ru/> [Электрон.ресурс]
11. <https://www.emd-international.com/windpro/windpro-modules/4-0-features/>
12. Илюшин П.В. Повышение надежности функционирования распределительных электрических сетей за счет эффективного применения систем накопления электроэнергии // Электроэнергия. Передача и распределение. - 2022-№6 (75) - С. 64-74.

Қ.Ж.Аусенов¹, Т.М.Жантикин¹, Ә.А.Жаңбырбаев¹, Н.А.Қарджаубаев²,
М.К.Мукушева³, Р.Қ.Оқасов¹

¹Қазақстандық атом электр станциялары

²Электр Желілерін Басқару Жөніндегі Қазақстан Компаниясы

³«Қазақстан Республикасының Ұлттық ядролық орталығы» РМҚ

Шағын модульдік реакторлар. Олардың Қазақстанның энергетикалық жүйесіндегі орны

Андатпа. Қазақстандық энергетикада күрделі проблемалар: көмірді жағудан ластанудың жоғары деңгейі, электр энергиясының тапшылығы және электр станциялары жабдықтарының тозуы туындауда. Шешімді атом электр станцияларын салу және электр желілерін дамыту арқылы табуға болады, бұл ел үшін электр энергиясының таза және сенімді көзі ретінде шағын модульдік реакторларды дамыту келешегін ашады.

Көптеген елдер шағын модульдік реакторларға үлкен қызығушылық танытады, бұл күрделі шығындарды азайту, сол сияқты салыстырмалы төмен сыйымдылықтағы электр жүйелерінде пайдалану мүмкіндігіне де байланысты.

Қазақстандағы энергожүйе 3 аймақтан тұрады: Солтүстік, Оңтүстік және Батыс, соңғысы ҚР БЭЖ-дан оқшауланып жұмыс істейді. Барлық мұнай-газ секторы осы өңірде екенін ескере отырып, субъектілерді электрмен жабдықтаудың тұрақты жұмысын қамтамасыз ету қажет. Батыстың энергетикалық балансын талдау, сондай-ақ елдің үлкен экономикалық және экологиялық шығындарына әкелетін өнеркәсіптік тұтынушыларды электрмен жабдықтаудың жиі үзілуі, өзінің пайдалану ресурсын толық пайдаланатын энергия көздерін жиі пайдаланудан шығару салдарынан қолданыстағы қуаттар болашақта өсіп келе жатқан қажеттіліктерді жаба алмайтынын көрсетеді. [1]. Осылайша, көмірсутегі ізін азайту қажеттілігіне байланысты көмірсутекті шикізатты пайдалана отырып, энергия көздерін салуға баламаның жоқтығы, сондай-ақ Батыс аймағын Қазақстан Республикасының Бірыңғай энергетикалық жүйесіне қосу перспективасы оны құрайды. қуаттылығы 300 МВт-тан астам энергоблоктарды пайдалану мүмкіндігі бар, бұл өңірді үздіксіз электрмен жабдықтауды қамтамасыз етеді және энергия жүйесінің тапшылығын өтейді.

Мақала авторлары шағын модульдік реакторлар базасындағы атом электр станцияларымен біріктірілген жаңартылатын энергетика кешенін – жел және күн станцияларын салуды және энергияны сақтау жүйелерін пайдалануды көздейтін «Көміртексіз энергия кешені» жобасын қарастыруда. Энергетикалық кешен элементтерінің бірлескен жұмысы smart grid технологиясына негізделген сандық басқару жүйесін пайдалану есебінен жүктеме кестесіне сәйкес оңтайландырылады.

Шолуда ШМР, ЖЭК, энергия жинақтағыштардың және Smart Grid қарастырылып жатқан жобаларының артықшылықтары мен кемшіліктері, сондай-ақ Қазақстан Республикасында «Көміртексіз энергия кешені» жобасын іске асырудың негізділігі мен мүмкіндігі қаралатын болады.

Түйін сөздер: атом электр станциясы, шағын модульдік реакторлар, көміртексіз энергия кешені, жаңартылатын энергия көздері, жел энергетикасы, күн энергетикасы, гибриді генерация.

K.Zh.Aussenov¹, T.M.Zhantikin¹, A.A.Zhanbirbayev¹, N.A.Karjaubayev²,
M.K.Mukusheva³, R.K.Okasov¹

¹Kazakhstan Nuclear Power Plants LLP

²Kazakhstan Electricity Grid Operating Company

³RSE «National Nuclear Center» RK

Small modular reactor. Its place in the energy system of Kazakhstan

Abstract. Kazakhstan's energy sector is facing significant challenges, including a high level of pollution caused by coal combustion, electricity shortages, and deterioration of energy station equipment. The solution lies in the construction of nuclear power plants and the development of power grids, which open up opportunities for the development of small modular reactors as a clean and reliable source of electric power.

Many countries express their huge interest in small modular reactors due to their desire to reduce capital expenses and their potential to integrate into power systems with lower capacity.

The energy system of Kazakhstan consists of 3 zones: Northern, Southern and Western. The western zone operates in isolation from the Unified Energy Network of the Republic of Kazakhstan. Considering that the entire oil and gas sector is located in this region, it is necessary to ensure stable operation of the electricity supply to the subjects. An analysis of the energy balance of the West shows that existing capacities in the future are not able to cover growing needs. [1]. Thus, the lack of an alternative to the construction of energy sources using hydrocarbon raw materials due to the need to reduce the carbon footprint, as well as the prospect of joining the Western zone to the Unified Energy System of the Republic of Kazakhstan, makes it possible to use power units with a capacity of more than 300 MW, which will ensure uninterrupted power supply to the region and cover the deficit of the energy system.

The authors of the article consider the project "Carbon-free energy complex," which involves the construction of a renewable energy complex - wind and solar power plants combined with a nuclear power plant based on small modular reactors and the use of energy storage systems.

The review will examine the advantages and disadvantages of SMR, RES, energy storage and Smart Grid projects, as well as the feasibility and feasibility of implementing the "Carbon-Free Energy Complex" project in Kazakhstan.

Keywords: nuclear power plant, small modular reactors, carbon-free energy complex, renewable energy sources, wind energy, solar energy, hybrid generation.

References

1. Prikaz Ministra energetiki Respubliki Kazahstan ot 11 yanvary 2024 goda № 11 «Ob utverjdenii prognoznyh balansov elektricheskoi energii i moshnosti v edinoi elektroenergeticheskoi sisteme Respubliki Kazahstan na period s 2024 po 2030 gody».
2. Ukaz Prezidenta Respubliki Kazahstan «O koncepcii po perekhodu respubliki Kazahstan k "zelenoj ekonomike"» ot 30 maya 2013 goda № 577
3. Kovalenko E.V., Tyagunov M.G. Hybrid cogeneration power complexes in insulated energetic systems. *Alternative Energy and Ecology (ISJAEE)*. 2015;(10-11):167-177. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2015.10-11.015>

4. Vas'kov A.G., Kovalenko E.V., Tyagunov M.G., Sharapov S.A. Ispol'zovanie gibridnyh energokompleksov na osnove vozobnovlyaemyh istochnikov ener-gii v raspredelennoy energetike // Energetik. 2014. № 2. S. 25-27.

5. Martynov A.V. Decentralizovannye sistemy teplosnabzheniya // Novosti teplosnabzheniya. 2006. № 7. S. 24-27.

6. Government Resolution "On approval of the Concept for the development of the fuel and energy complex of the Republic of Kazakhstan for 2023-2029" dated June 28, 2014 No. 724.

7. .Otchet ministra energetiki Respubliki Kazahstan <https://primeminister.kz/ru/news/minenergo-razrabotal-plan-meropriyatiy-po-razvitiyu-elektroenergeticheskoy-otrasli-budut-vvedeny-26-gvt-novykh-generiruyushchikh-moshchnostey-26978>

8. Normy MAGATE po bezopasnosti [Elektron.resurs] <https://www.emd-international.com/windpro/windpro-modules/4-0-features/>

9. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ [Электрон.ресурс]

10. <https://stat.gov.kz/ru/>[Электрон.ресурс]

11. <https://www.emd-international.com/windpro/windpro-modules/4-0-features/>

12. Ilyushin P.V. Povyshenie nadezhnosti funkcionirovaniya raspredelitel'nyh elektricheskikh setej za schet effektivnogo primeneniya sistem nakopleniya elektroenergii// Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie.- 2022-№6 (75) - S. 64-74.

Сведения об авторах:

Аусенов К.Ж. – ведущий инженер ТОО «Казахстанские атомные электрические станции».

Жантикин Т.М. – кандидат физико-математических наук, генеральный директор ТОО «Казахстанские атомные электрические станции».

Жанбирбаев А.А. – ведущий инженер ТОО «Казахстанские атомные электрические станции».

Карджаубаев Н.А. – кандидат технических наук, инженер АО «Казахстанская компания по управлению электрическими сетями».

Мукушева М.К. – автор для корреспонденции, доктор технических наук, профессор, директор отделения РГП «Национальный ядерный центр РК» МЭ РК,

<https://orcid.org/0009-0006-8584-5978>

Окасов Р.К. – заместитель генерального директора ТОО «Казахстанские атомные электрические станции».

Аусенов Қ.Ж. – «Қазақстан атом электр станциялары» ЖШС жетекші инженері

Жантикин Т.М. – физика-математика ғылымдарының кандидаты, «Қазақстан атом электр станциялары» ЖШС бас директоры

Жанбірбаев А.А. – «Қазақстан атом электр станциялары» ЖШС жетекші инженері

Қарджаубаев Н.А. – т.ғ.к., «Қазақстан электр желілерін басқару компаниясы» АҚ инженері

Мұқышева М.Қ. – хат авторы, т.ғ.д., профессор, Қазақстан Республикасы Энергетика министрлігінің «Қазақстан Республикасының Ұлттық ядролық орталығы» РМК департаментінің директоры,

<https://orcid.org/0009-0006-8584-5978>

Оқасов Р.Қ. – «Қазақстан ядролық электр станциялары» ЖШС бас директорының орынбасары

Ausenov K.Zh. – leading engineer of Kazakhstan Nuclear Power Plants LLP

Zhantikin T.M. – candidate of physical and mathematical sciences, general director of Kazakhstan Nuclear Power Plants LLP

Zhanbirbayev A.A. – leading engineer of Kazakhstan Nuclear Power Plants LLP

Kardzhaubayev N.A. – candidate of technical sciences, engineer of Kazakhstan Electricity Grid Management Company JSC

Mukusheva M.K. – corresponding author, doctor of technical sciences, professor, director of the department of the RSE National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan,

Okasov R.K. – deputy general director of Kazakhstan Nuclear Power Plants LLP



Copyright: © 2024 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>)

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.
№4 (149)/2024 – Астана: ЕҰУ. – 398 б. Шартты б.т. – 51,2. Таралымы – сұраныс бойынша.

Басуға қол қойылды: 31.12.2024 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.