

ISSN 2227-2917 (print)
ISSN 2500-154X (online)

12+



IZVESTIYA VUZOV
Investitsii
Stroitelstvo
Nedvizhimost

ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ
ИНВЕСТИЦИИ
СТРОИТЕЛЬСТВО
НЕДВИЖИМОСТЬ

Том 15 № 1
2025

ISSN 2227-2917 (print)
2500-154X (online)

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE RUSSIAN FEDERATION



ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

IRKUTSK NATIONAL RESEARCH TECHNICAL UNIVERSITY

ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ. ИНВЕСТИЦИИ. СТРОИТЕЛЬСТВО. НЕДВИЖИМОСТЬ

PROCEEDINGS OF UNIVERSITIES
INVESTMENT. CONSTRUCTION. REAL ESTATE

Izvestiya vuzov
Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost

Том 15 № 1
Vol.



ИЗДАТЕЛЬСТВО
Иркутского национального исследовательского
технического университета

PUBLISHERS
of Irkutsk National Research Technical University
2025



В журнале опубликованы статьи ученых из России и зарубежья, посвященные научным результатам в области теоретических и прикладных проблем строительства, архитектуры, экономики и управления. Статьи объединены в три тематических блока: Экономика и управление; Строительство; Архитектура. Градостроительство. Дизайн.

Издание предназначено для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов вузов, специалистов инвестиционно-строительной сферы, государственных и муниципальных органов власти.

Журнал включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, утвержденный ВАК Минобробразования России

Журнал включен в следующие базы данных: EBSCO Publishing Databases, ВИНТИ РАН, система Российского индекса научного цитирования, представлен в электронной библиотеке «Cyberleninka», библиотеке Oxford, Directory of Open Access Journals (DOAJ) и описан в Ulrich's Periodicals Directory.

Журнал «Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость» реферируется и рецензируется.

Сведения о журнале можно найти на сайте в Интернете: <http://www.istu.edu>

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).
Свидетельство ПИ № ФС77-62787 от 18 августа 2015 г.

Учредитель-издатель:

ФГБОУ ВО Иркутский национальный исследовательский технический университет

Подписной индекс в ООО «Урал-Пресс» - 41511

Адрес ООО «Урал-Пресс»:

620026, Свердловская область, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, д. 130

Адрес учредителя, издателя и редакции:

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

e-mail: izv_isn@istu.edu

При перепечатке и цитировании ссылка на журнал
«Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость» обязательна

Авторы опубликованных статей несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, экономико-статистических данных и прочих сведений. Компьютерный макет сборника составлен из оригинальных авторских файлов.

ISSN 2227-2917 (print)
2500-154X (online)

In this journal we published the articles of Russian and foreign scientists, which are dedicated to scientific results in the sphere of theoretical and applied problems of development, architecture, economics and management. The articles are combined into three topical units: Economics and management; Construction; Architecture. Urban construction. Design.

The publication is for staff scientists, teachers, post-graduate students and students of universities, specialists in investment and building sphere, government and municipal authorities.

The journal is included in the list of the leading scientific journals and publications, where the key scientific results of doctoral (candidate's) theses approved by the State Commission for Academic Degrees and Titles of the Russian Ministry of Education are to be published

The Journal is indexing in EBSCO Publishing Databases, VINITI Database (Referativnyi Zhurnal), Russian Science Citation Index, included in the digital scientific library Cyberleninka, University OXFORD, Directory of Open Access Journals (DOAJ) and is described in Ulrich's Periodicals Directory.

The journal "Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate" is abstracted and reviewed.

Information about the journal you can find on the site in the Internet: <http://www.istu.edu>

The journal is registered with the Federal Agency for Supervision of Communications, Information Technologies and Mass Media (Roskomnadzor).
Certificate of registration № ПИ № ФС77-62787 of 18 August, 2015.

Founder, publisher: FSBEIHE Irkutsk National Research Technical University

The subscription code in Ural-Press LLC: 41511
The postal address of Ural-Press LLC:
130 Mamin-Sibiryak St.,
Yekaterinburg, 620026, Russia

Address of the founder, publisher and editorial office:
83 Lermontov St., Irkutsk 664074
e-mail: izv_isn@istu.edu

Reference to the journal «Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate» is obligatory while reprinting and quotation

The authors of submitted materials are responsible for the selection and accuracy of facts, quotations, economic and statistical data and other information. Computer model of a journal is compiled of original authors' files

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Пешков В.В., доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экспертизы и управления недвижимостью Иркутского национального исследовательского технического университета, советник РААСН, главный редактор (Иркутск, Россия)

Чупин В.Р., доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой городского строительства и хозяйства Иркутского национального исследовательского технического университета, советник РААСН, заместитель главного редактора (Иркутск, Россия)

Батмунх Сэрээтэр, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тепловых электрических станций Монгольского государственного университета науки и технологии, директор Института теплотехники и промышленной экологии Академии наук Монголии, академик Монгольской Академии наук (Улан-Батор, Монголия)

Беккер А.Т., доктор технических наук, профессор, профессор Инженерной школы Дальневосточного федерального университета, член-корреспондент РААСН (Владивосток, Россия)

Большаков А.Г., доктор архитектуры, профессор, заведующий кафедрой архитектурного проектирования Иркутского национального исследовательского технического университета, советник РААСН (Иркутск, Россия)

Вальтер Фогт, доктор технических наук, специалист по планированию транспорта университета Штутгарта (Штутгарт, Германия)

Васильев Ю.Э., доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительства и эксплуатации дорог Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (Москва, Россия)

Гребенюк Г.И., доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительной механики Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета, советник РААСН (Новосибирск, Россия)

Даваасурэн Авирмэд, доктор экономических наук, профессор, заведующий отделом региональной экономики и многосторонних взаимодействий Института международных исследований Академии Наук Монголии (Улан-Батор, Монголия)

Димитра Николау, доктор архитектуры, профессор отдела городского и регионального планирования Архитектурной школы Афинского национального технического университета (Афины, Греция)

Ерофеев В.Т., доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных материалов и технологий Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева, академик РААСН (Саранск, Республика Мордовия, Россия)

Ефимов А.В., доктор архитектуры, профессор, заведующий кафедрой дизайна архитектурной среды Московского архитектурного института, лауреат Государственной премии РФ, заслуженный деятель искусств (Москва, Россия)

Збигнев Войчицки, доктор технических наук, профессор кафедры гражданского строительства Вроцлавского технологического университета (Вроцлав, Республика Польша)

Калюжнова Н.Я., доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономической теории и управления Иркутского государственного университета (Иркутск, Россия)

Ковачев А.Д., доктор архитектуры, профессор, заведующий кафедрой архитектуры и урбанистики архитектурного факультета Варненского свободного университета им. Ч. Храбра, иностранный член РААСН (Варна, Болгария)

Леонард Шенк, доктор архитектуры, профессор факультета архитектуры и дизайна Констанцского университета (Констанц, Германия)

Леонович С.Н., доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии строительного производства Белорусского национального технического университета, заместитель председателя научного совета РААСН «Механика разрушения материалов и конструкций», иностранный академик РААСН (Минск, Республика Беларусь)

Ляхович Л.С., доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительной механики Томского архитектурно-строительного университета, академик РААСН (Томск, Россия)

Матвеева М.В., доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры экспертизы и управления недвижимостью Иркутского национального исследовательского технического университета, советник РААСН (Иркутск, Россия)

Нгуен Туан Ань, доктор технических наук, научный сотрудник кафедры водоснабжения и водоотведения Университета природных ресурсов и окружающей среды (Хошимин, Вьетнам)

Новицкий Н.Н., доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией трубопроводных и гидравлических систем Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, главный научный сотрудник (Иркутск, Россия)

Сетогуту Тсуеши, доктор технических наук, профессор департамента архитектуры Университета Хоккайдо (Япония)

Сколубович Ю.Л., доктор технических наук, профессор, ректор Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета, член-корреспондент РААСН (Новосибирск, Россия)

Стенников В.А., доктор технических наук, профессор, директор Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, Академик РАН (Иркутск, Россия)

Урханова Л.А., доктор технических наук, профессор, профессор кафедры дорожно-строительных материалов Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (Москва, Россия)

Фань Фэн, профессор, советник ректора Харбинского политехнического университета, заместитель исполнительного директора Ассоциации технических университетов России и Китая (Харбин, Китай)

Федюк Р.С., доктор технических наук, профессор Военного учебного центра Дальневосточного федерального университета, советник РААСН (Владивосток, Россия)

Фолькер Циглер, доктор архитектуры, профессор, заведующий кафедрой городского планирования и проектирования Страсбургской архитектурной школы (Страсбург, Франция)

Холодова Л.П., доктор архитектуры, профессор, заведующий кафедрой теории архитектуры и профессиональных коммуникаций Уральского государственного архитектурно-художественного университета, член-корреспондент Академии художеств, советник РААСН (Екатеринбург, Россия)

Энгель Барбара, доктор архитектуры, специалист по городскому планированию Дрезденского технического университета (Дрезден, Германия)

Яськова Н.Ю., доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой инвестиционно-строительного бизнеса и управления недвижимостью Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (Москва, Россия)

EDITORIAL BOARD

Peshkov V.V., Doctor of Economical Sciences, Professor, Head of the Department of Real Estate Expertise and Management of Irkutsk National Research Technical University, Advisor to the RAACS, Editor-in-Chief (Irkutsk, Russia)

Chupin V.R., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Urban Development and Municipal Economy of Irkutsk National Research Technical University, Advisor to the RAACS, Deputy Chief Editor (Irkutsk, Russia)

Batmunkh Sereeter, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Academy of Sciences of Mongolia, Director of the Institute of Thermal Engineering and Industrial Ecology of Mongolian Academy of Sciences, Head of Department of Thermal Power Plants of the Mongolian State University of Science and Technology (Ulan Bator, Mongolia)

Bekker A.T., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Engineering School of Far Eastern Federal University, Corresponding member of RAACS (Vladivostok, Russia)

Bolshakov A.G., Doctor of Architecture, Professor, Head of the Department of Architectural Design of Irkutsk National Research Technical University, Advisor to the RAACS (Irkutsk, Russia)

Walter Fogt, Doctor of Technical Sciences, Specialist in transportation planning, Stuttgart University (Germany)

Vasiliev Yu.E., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Road Construction and Maintenance of Moscow State Automobile and Road Technical University (Moscow, Russia)

Grebenyuk G.I., Doctor of Technical Sciences, professor, Head of the Department of Construction Mechanics of Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Advisor to the RAACS (Novosibirsk, Russia)

Davaasuren Avirmed, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Regional Studies and Multilateral Interactions of the Institute of Foreign Studies of the Academy of Sciences of Mongolia (Ulan Bator, Mongolia)

Dimitra Nikolau, Doctor of Architecture, Professor, Department of Urban and Regional Planning of School of Architecture of Athenes National Technical University (Athenes, Greece)

Erofeev V.T., Doctor of Technical Sciences, professor, Head of the Department of Building Materials and Technologies of National Research Mordovian State University named after N.P. Ogareva, Academician of RAACS (Saransk, Republic of Mordovia, Russia)

Yefimov A.V., Doctor of Architecture, Professor, Head of Department of architectural environment design of Moscow Architectural Institute, State Prize Winner of RF, Honored Art Worker (Moscow, Russia)

Zbigniew Wojcicki, Doctor of Technical Sciences, Professor, Civil Engineering Department, Wroclaw University of Technology (Wroclaw, Poland)

Kalyuzhnova N.Ya., Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of Department of Economics and Management of Irkutsk State University (Irkutsk, Russia)

Kovachev A.D., Doctor of Architecture, Professor, Head of Department of Architecture and Urbanistics, Architecture Faculty of Varna Free University of named after Ch. Hrabar, Foreign Member of RAACS (Varny, Bulgaria)

Leonard Shenk, Doctor of Architecture, Professor of the Faculty of Architecture and Design of the KonstantsUniversity (Konstants, Germany)

Leonovitch S.N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Building technologies of Byelorussian National Technical University, Deputy Chairman of the Scientific Council of RAACS "Mechanics of materials and structures destruction", Foreign Academician of RAACS (Minsk, Byelorussia)

Lyakhovich L.S., Doctor of Technical Sciences, professor, Head of the Department of Building Mechanics of Tomsk Architecture and Construction University, Academician of RAACS (Tomsk, Russia)

Matveeva M.V., Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Real Estate Expertise and Management of Irkutsk National Research Technical University, Advisor to the RAACS (Irkutsk, Russia)

Nguyen Tuan An, Doctor of Technical Sciences, Scientific Researcher of Water Supply and Sanitation Department, University of Natural Resources and Environment (Ho Chi Minh, Vietnam)

Novitskii N.N., Doctor of Technical Sciences, professor, Head of the Laboratory Pipeline and Hydraulic Systems of the L.A. Melentiev Institute of Energy Systems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher (Irkutsk, Russia)

Setoguchi Tsuyoshi, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Architecture, Hokkaido University (Japan)

Skolubovitch Yu.L., Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector of Novosibirsk State University of Architecture and Construction, Corresponding Member of RAACS (Novosibirsk, Russia)

Stennikov V.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chairman of Scientific-Expert of the Board for Energy Efficiency, Corresponding member of Russian Academy of Sciences (Irkutsk, Russia)

Urkanova L.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Road Construction Materials, Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University (Moscow, Russia)

Fan Feng, Full Professor, Assistant President, Harbin Institute of Technology, Deputy Executive Director of the Association of Sino-Russian Technical Universities, ASRTU (Harbin, China)

Fedyuk R.S., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Far Eastern Federal University, Adviser to the RAASN (Vladivostok, Russia)

Folker Tsigler, Doctor of Architecture, Professor, Head of the Department of Town-Planning and Design of Strasbourg School of Architecture (Strasbourg, France)

Kholodova L.P., Doctor of Architecture, Professor, Corresponding Member of the Academy of Arts, Head of the Department of Theory of Architecture and Professional Communications, Urals State Architectural-Artistic University, Advisor of RAACS (Yekaterinburg, Russia)

Engel Barbara, Doctor of Architecture, specialist in urban planning of Dresden Technical University (Dresden, Germany)

Yaskova N.Yu., Doctor of Economical Sciences, Professor, Head of the Department of Investment and Construction Business and Real Estate Management at the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (Moscow, Russia)

СОДЕРЖАНИЕ

Известия вузов
Инвестиции. Строительство. Недвижимость

Том 15 № 1 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Викторов М.Ю., Бурлуцкий Н.А. Проблемы создания комплексного импортонезависимого национального ТИМ-решения	10
Яськова Н.Ю., Самойлов С.Ю. Инвестиционные горизонты совместной деятельности по достижению целей национальных проектов	20

СТРОИТЕЛЬСТВО

Аль-Сабаеи А.К., Абсиметов В.Э. Расчет напряженно-деформированного состояния и долговечности сварного соединения рамных узлов с учетом остаточных напряжений	31
Балановская А.В., Абдрахимова Е.С. Влияние золошлаковых отходов на технические показатели керамического кирпича на основе отхода цветной металлургии без применения природного традиционного сырья	44
Баранова А.А. Сорбционная влажность ячеистых бетонов	54
Боков С.С., Шматков Р.Н. Об асимптотических особенностях n-сфер	64
Каблуков А.В., Дмитриева Т.Л., Яценко В.П. Геотехнический мониторинг на этапах жизненного цикла объектов топливно-энергетического комплекса на многолетнемерзлых грунтах	73
Матвеева М.В., Безруких О.А., Изнова В.А., Балышева А.Н. Анализ эффективности реализации девелоперского проекта в контексте интеграции ESG-факторов	85
Попова О.Н., Шошина А.А., Юдина А.Ф., Симанкина Т.Л. Исследование энергоэффективности жилищного фонда для разработки технологических решений при капитальном ремонте	97
Сколубович А.Ю., Евдокименко А.С. Современное представление этапов жизненного цикла объекта капитального строительства	110
Слободчикова Н.А., Ключев С.В., Исмаилов А.М. Возможности применения твердых коммунальных отходов в дорожном строительстве	119
Чикалина С.Л. Проектирование пешеходных переходов с учетом комфортности и безопасности участников дорожного движения	133

АРХИТЕКТУРА. ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ДИЗАЙН

Маклакова И.А. Закономерности и тенденции формирования пространственной структуры архитектурных школ дополнительного образования	145
Меркушев К.А. Анализ технических возможностей развития последовательно обучающихся нейронных сетей в проектировании промышленной архитектуры	155
Сосновская В.В. Пространственное значение церквей в формировании уличной сети г. Иркутска	165

CONTENTS

Proceedings of Universities Investment. Construction. Real estate

Том 15 № 1 2025

CONTENTS

ECONOMICS AND MANAGEMENT

Viktorov M.Yu., Burlutsky N.A. Challenges of developing a comprehensive import-independent national TIM solution	10
Yaskova N.Yu., Samoilov S.Yu. Investment prospects of joint activities for meeting the objectives of national projects	20

CONSTRUCTION

Al-Sabaei A.Q., Absimetov V.E. Calculation of stress-strain state and durability of welded joints of frame assemblies with regard to residual stresses	31
Balanovskay A.V., Abdrakhimova E.S. Influence of ash and slag waste on the technical properties of ceramic bricks made from non-ferrous metallurgical waste without the use of conventional natural raw materials	44
Baranova A.A. Sorption moisture of cellular concrete	54
Bokov S.S., Shmatkov R.N. On asymptotic features of n-spheres	64
Kablukov A.V., Dmitrieva T.L., Yashchenko V.P. Geotechnical monitoring during the life cycle of fuel and energy complex facilities on permafrost soils	73
Matveeva M.V., Bezrukikh O.A., Iznova V.A., Balysheva A.N. Performance analysis of a development project through the integration of ESG factors	85
Popova O.N., Shoshina A.A., Yudina A.F., Simankina T.L. Energy efficiency of housing stock for the development of technological solutions for major repairs	97
Skolubovich A.Yu., Evdokimenko A.S. Modern view on life-cycle stages of capital construction objects	110
Slobodchikova N.A., Klyuev S.V., Ismailov A.M. Application of municipal solid waste in road construction	119
Chikalina S.L. Crosswalks design in view of comfort and safety of road users	133

ARCHITECTURE. URBAN CONSTRUCTION. DESIGN

Maklakova I.A. Regularities and tendencies in forming the spatial structure of architectural schools of additional education	145
Merkushev K.A. Technical capacity for development of sequentially training neural networks in industrial architecture design	155
Sosnovskaya V.V. Spatial significance of churches in the development of the street network within Irkutsk	165



Проблемы создания комплексного импортонезависимого национального ТИМ-решения

М.Ю. Виктор^{1✉}, Н.А. Бурлуцкий²

^{1,2}Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Москва, Россия

Аннотация. Преодоление импортозависимости в области программного обеспечения в условиях перехода к цифровой экономике становится важнейшей задачей для всех участников обеспечения технологического суверенитета страны. В настоящее время необходимо упорядочить и синхронизировать деятельности по целому ряду направлений. Например, стратегическому планированию цифровизации, координации деятельности раз, обеспечению взаимодействия последних с пользователями, созданию системы их многопользовательской распределенной совместной работы, создания конверторов данных, а также единого формата данных для взаимозаменяемости программных продуктов. Целевая фокусировка деятельности в области последовательного перехода на использование национальных программных продуктов потребовала изучения позиций основных участников процесса. Ассоциация «Национальное объединение организаций в сфере технологий информационного моделирования» провела опрос по ключевым проблемам, что легло в основу авторских предложений по формату и структуре цифровой карты ПромТИМ. Авторы акцентировали внимание на отсутствии режима взаимодействия пользователей и разработчиков, недостаточном использовании современных практик разработки (open source подхода, бесплатного тестирования, продуктового подхода, открытого API для разработки собственных дополнений при создании ПромТИМ), несформированности стабильного механизма многопользовательской распределенной совместной деятельности по созданию цифровой информационной модели, включая возможность одномоментной совместной работы и др. Основываясь на результатах проведенного опроса и широкого обсуждения заявленной проблемы, авторы предложили форму и структуру цифровой карты ПромТИМ.

Ключевые слова: импортонезависимость, информационное моделирование, программное обеспечение, цифровая карта, методы, BIM-платформа

Для цитирования: Виктор М.Ю., Бурлуцкий Н.А. Проблемы создания комплексного импортонезависимого национального ТИМ-решения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 1. С. 10–19. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-10-19>. EDN: VQJQWK.

Original article

Challenges of developing a comprehensive import-independent national TIM solution

Mikhail Yu. Viktor^{1✉}, Nikolay A. Burlutsky²

^{1,2}Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia

Abstract. In the conditions of transition to the digital economy, overcoming import dependence in the field of software becomes the most urgent goal for all participants in ensuring the country's technological sovereignty. At present, the activities in a number of areas need to be streamlined and synchronized. These include, for example, strategic planning of digitalization, coordination of developers' activities, ensuring their interaction with users, creating a system for their multi-user distributed collaboration, creating data converters and a common data format for the interchangeability of software products. The focusing

on the use of national software products required studying the positions of the main participants of the process. The National Association of Organizations in the Field of Information Modeling Technologies conducted a survey on key issues, which resulted in the suggestions concerning the format and structure of the PromTIM digital map. The emphasis was made on the lack of user and developer interaction mode, insufficient use of modern development practices (open-source approach, free testing, product approach, open API for development of own add-ons when creating PromTIM), lack of a stable mechanism of multiuser distributed collaborative activity for creating a digital information model, including the possibility of one-step collaboration, etc. The format and structure of the PromTIM digital map was developed.

Keywords: import independence, information modeling, software, digital map, methods, BIM platform

For citation: Viktorov M.Yu., Burlutsky N.A. Challenges of developing a comprehensive import-independent national TIM solution. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(1):10-19. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-10-19>. EDN: VQJQWK.

ВВЕДЕНИЕ

Системные усилия по преодолению импортозависимости России во многих отраслях имеют положительные результаты. Промышленность избавилась от долгосрочных и далеко не всегда экономически эффективных контрактных обязательств, последовательно замещая технологически важные для бесперебойной деятельности предприятий узлы. Энергетика, авиастроение, аграрный сектор, строительство все больше становятся импортонезависимыми [1]. Экономика приобретает цифровой формат, ускоряющий формирование общей картины пространственного развития страны [2, 3]. Требуется глубокая проработка различных сценариев развития, каждому из которых соответствует свой проектный портфель с присущими локационными особенностями, источниками и методами инвестирования, ресурсным обеспечением, составом участников, а также различным пакетом мер государственной поддержки [4].

Очевидно, что обоснованность принимаемых решений зависит от качества информационных ресурсов, их полноты и достоверности, а также наличия технологий информационного моделирования, позволяющих формировать и выбирать оптимальные сценарии развития и соответствующую им структуру проектного портфеля [5]. Открывающиеся возможности использования технологий искусственного интеллекта позволяют вплотную приблизиться к смарт-контракту [6]. Становится возможным использование превентивных механизмов разрешения противоречий интересов участников [7]. Проведенный анализ показал, что существующий пакет информационных технологий базируется на зарубежном программном обеспечении [8]. Кроме того, далеко не во всех

строительных и промышленных компаниях оцифрованы бизнес-процессы [9]. Ускорение процесса цифровизации требует усилий регулятора, а также общественных и профессиональных объединений по продвижению системных требований к цифровизации и применению отечественного программного обеспечения [10, 11].

Эта деятельность тесно связана с исследованием препятствий разработки отечественного программного обеспечения, а также решением проблемы прогнозирования эффектов использования информационных технологий [12, 13].

МЕТОДЫ

Исследование проблем программного обеспечения процессов информационного моделирования в настоящее время системно проводится Ассоциацией «Национальное объединение организаций в сфере технологий информационного моделирования» (НОТИМ)¹.

В частности, с 1 июля 2024 г. осуществлялась попытка получения и систематизации требований, предъявляемых пользователями к отечественному ПромТИМ².

В центре исследования находились проектная и строительная деятельность. Проведенный анализ показал, что до настоящего времени отсутствуют достоверные данные в отношении оцифровки бизнес-процессов компаний [14–16]. Остается проблема оценки экономической эффективности программного обеспечения, используемого на практике.

В результате проведенного опроса выяснилось, что более трети (37 %) опрошенных считают неудовлетворительным нормотворчество в области цифровизации.

Кроме того, важность оценки компетенций в сфере цифровых технологий «важно» и

¹Итоги Всероссийской конференции «ПромТИМ 2024. ТИМ-индустрия: визионерство и опыт». Режим доступа: <https://notim.ru/news-partners/422/> (дата обращения: 22.02.2025).

²ПромТИМ 2024. Режим доступа: <https://xn--h1ahbfegq.xn--p1ai/> (дата обращения: 20.02.2025).

«крайне важно» для 68 %. Назрел вопрос создания платформы для библиотек ТИМ-компонентов для 65 %. Для 77 % наиболее важными функциями платформы является интеграция с существующими системами. Уточним, что это не снимает с повестки функции создания удобного интерфейса, поддержки различных языков программирования, использования мобильных устройств и др.

Из информационных технологий, по мнению опрошенных, наибольшее значение в 2025 г. имеют искусственный интеллект и машинное обучение (54 %), большие данные и аналитика (44 %), а также кибербезопасность (33 %). С большим разрывом называется необходимость технологий блокчейна (7 %) и интернета вещей (10 %). При этом, только 12 % организаций готовы к цифровым изменениям 2025 г. Среди препятствий отмечены:

- недостаток финансирования;
- отсутствие квалифицированных кадров;
- сопротивление изменениям сотрудников;
- нехватка технологий и инструментов.

Решение задачи в современном формате осуществляется в виде разработки и компоновки цифровой карты отечественного программного обеспечения, подходящего для формата ПромТИМ.

Цифровая карта должна уточняться по мере сбора данных, полученных на предшествующих этапах и выводов по улучшению и развитию отобранного программного обеспечения. Выводы в общем виде должны отражать:

1. Оценку покрытия ключевых бизнес-процессов в промышленном строительстве. Эта информация важна не только для формирования регулятором целевого вектора развития, но и для создания конкурентной среды для разработчиков программного обеспечения.

2. Выявленные проблемные зоны в архитектуре ПромТИМ.

3. Постановку задачи доработки существующего программного обеспечения, имея в виду отказ от разработки абсолютно нового продукта.

4. Организацию референс-визитов разработчиков, позволяющих оценивать успех внедрения программного обеспечения.

Материалы проведенного исследования позволяют констатировать необходимость совершенствования имеющегося программного обеспечения вместо разработки нового.

Запросы компаний в отношении цифровизации основных бизнес-процессов касаются дополнения имеющихся зарубежных и отечественных программных продуктов [17].

Отсутствие общепринятых методов оценки экономической эффективности внедрения программных продуктов, а также нехватка информации об успешных кейсах внедрения существенно тормозит решение задачи создания комплексного импортонезависимого национального ТИМ-решения [18].

В отношении методов прогнозирования эффектов использования информационных технологий предлагается, особенно в контексте возможностей экономико-математических моделей, рассматривать использование различных подходов, таких как теория игр, моделирование и оптимизация.

Авторский обзор возможных подходов, которые можно применить для анализа и прогнозирования описанных выше эффектов позволяет определить сферы и типы задач, решаемых наиболее распространенными методами.

Оптимизация и линейное программирование

Использование методов оптимизации позволяет минимизировать затраты или максимизировать выгоды при реализации ИТ-процессов. Линейное программирование в этом случае может быть применено для определения наилучшего способа распределения ресурсов или управления проектами, которые дают эффекты в коммуникации или интеграции ИТ-платформ [19].

Теория игр

Применима для анализа взаимодействий и стратегий различных участников в ИТ-инфраструктуре. Это может быть полезно для моделирования эффекта «ловушки проблем», когда различные стейкхолдеры взаимодействуют для достижения лучших решений и предотвращения ошибок.

Например, в кооперативных играх можно моделировать ситуации, где различные бизнес-подразделения будут сотрудничать для достижения общих целей [20].

Модели системной динамики

Системная динамика может быть использована для моделирования изменений в больших и сложных системах, таких как инвестиционно-строительные процессы или интеграция ИТ-платформ. Она позволяет учитывать временную динамику и взаимодействие различных компонентов, например, эффекта синхронизации процессов [21].

Статистические методы (например, регрессионный анализ) и машинное обучение

Анализ больших данных с использованием статистических методов и машинного обучения дает возможность прогнозировать эффекты от внедрения ИТ [22, 23].

Например, прогнозирование улучшения прозрачности и подконтрольности через регрессии или классификационные модели.

Анализ социальных и организационных сетей

Он может помочь в изучении эффекта оптимизации коммуникации. Методы анализа сетей могут выявить ключевые узлы и каналы, через которые информация распространяется более эффективно. Также сети могут улучшать производительность [24].

Эти методы и подходы [25, 26] позволяют более обоснованно прогнозировать эффекты использования информационных технологий и принимать управленческие решения с учетом объективных данных и адекватных моделей.

В отношении выбора подхода к оценке экономической эффективности внедрения программных продуктов и перехода к использованию технологий информационного обеспечения мнение экспертного сообщества до сих пор не сформировалось, что требует обсуждения и выбора наиболее подходящих с учетом их апробации на фактических материалах [27].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Упорядочение представлений о характере процессов цифровизации, актуальных программных продуктах, ТИМ-компонентах, платформах программного обеспечения, значении тех или иных технологий и др. стало предметом ежегодно, начиная с 2020 г., проводимых НОТИМ конгрессов. Установление диалоговых режимов пользователей и разработчиков, комплексная оценка конкурирующих подходов, расширение использования современных практик разработки, формирование предложений по развитию ТИМ с учетом защиты национальных интересов и др. позволило сфокусировать внимание профессиональной среды на ключевых вопросах, придав ускорение в решении проблемы разработки отечественного программного обеспечения [28–31].

Систематизируя выявленные в результате обсуждения проблемы, укажем на следующие обстоятельства:

1. До настоящего времени партнерские связи, а, стало быть, оперативный режим взаимодействия пользователей и разработчиков устанавливается случайным образом. Предложения пользователей не включаются в процесс разработки/доработки вопреки тому, что учет пожеланий пользователей безусловно имеет первостепенное значение для создания ПромТИМ.

2. Дискуссионный контекст поиска технических решений охватывает менеджеров и заказчиков, а не технических специалистов, что

неизбежно приводит к ошибкам уже на стадии постановки целей и задач, а также неточному учету возможностей операционных систем и мощностей используемого оборудования [32].

3. Недостаточное использование современных практик разработки: open source подхода, бесплатного тестирования, продуктового подхода, открытого API для разработки собственных дополнений при создании ПромТИМ.

4. Несформированность стабильного механизма многопользовательской распределенной совместной деятельности по созданию цифровой информационной модели, включая возможность одномоментной совместной работы, а также необходимость выполнения базовых расчетов при проектировании.

5. Отсутствие национальной схемы данных, единого формата данных для взаимозаменяемости программного обеспечения, а также конверторов данных под зарубежные программные продукты.

6. Низкая культура разработки программных продуктов от отечественных разработчиков и, как следствие, отсутствие готовности отечественных компаний переходить на отечественное программное обеспечение.

7. Фактическое отсутствие обратной связи. Ответы на вопросы разработчиков получены всего от 4 % компаний, принимающих участие в исследовании.

Учитывая выявленные проблемы, цифровая карта для ПромТИМ может быть разработана пока только на основе собранных из открытых источников данных. Фрагмент предлагаемой цифровой карты приведен в таблице.

В сложившейся ситуации, основываясь на результатах проведенного анализа, цифровая карта ПромТИМ должна учесть стадии реализации объекта капитального строительства. В общепринятом формате это работы по изысканию, проектированию, строительству, эксплуатация и ликвидация.

Уточним, что стадия ликвидации до сих пор не учитывается, что усугубляет решение проблемы реновации, не позволяет давать оценки эффективности жизненного цикла, приводит к необоснованным затратам, не давая возможность заранее оценивать стартовые затраты следующих циклов развития. В этой связи базовый макет цифровой карты для ПромТИМ следует рассмотреть как предложение, требующее всестороннего обсуждения и по формату, и по содержанию программного обеспечения. Также она должна учесть вид ключевого объекта системы, который представлен в форме генплана/мастерплана, линейного объекта, объекта капитального строительства,

оборудования, технологического процесса, исполнительной документации, проекта и др. Сюда же относится обширный перечень программных продуктов, изначально вошедших в цифровую карту.

Так, по данным НОТИМ, 336 видов программных продуктов будет включен в карту, в том числе 207 вошли в состав 124 информационных платформ. 129 программных продуктов являются независимыми решениями. Курс на уменьшение количества программных продуктов, как утверждает экспертное сообщество,

может быть реализован эмпирическим путем. Апробация продукта позволит сделать обоснованный выбор^{3,4}. В отношении класса систем, предлагаемых в качестве ТИМ-решений, отметим, что по ряду классов имеется переизбыток программных продуктов. Так, для оценки стоимости строительства на рынке предлагается 47 продуктов, а в отношении управления строительством и строительного контроля – 52 продукта. В этой связи возник вопрос экспертизы и выбора программных продуктов, что становится одной из задач НОТИМ.

Фрагмент цифровой карты. Изыскания

Fragment of a digital map. Research

Ключевой объект системы	Класс программного обеспечения	Наименование	Экосистема/платформа	Описание
Облако точек	Системы компьютерного зрения (CVS)	НОРД ЛС	–	Система обработки и распознавания данных лазерного сканирования «НОРД ЛС» – отечественный программный продукт обработки и распознавания данных лазерного сканирования построения высокоточных 3D-моделей промышленных предприятий и инженерных сооружений
		КРЕДО 3D СКАН	Кредо	Преобразование из фотограмметрических и лазерных облаков точек цифровой модели местности (ЦММ) инженерного назначения является трудоемкой рутинной задачей. Автоматизация этого процесса позволяет существенно сократить временные затраты на обработку фотограмметрических и лазерных облаков точек
		КРЕДО ФОТОГРАММЕТРИЯ		Фотограмметрические методы в настоящее время используются для решения множества инженерных задач. КРЕДО ФОТОГРАММЕТРИЯ обеспечивает выполнение полной цепочки работ - от фотограмметрической обработки до создания цифровой модели местности. Фотограмметрия включает в себя функционал обработки фотографий, полученных как аэрофотосъемкой, так и наземной съемкой, и получения облаков точек и ортофотопланов, а также все необходимые инструменты обработки облаков точек: фильтрация, классификация и выделение рельефа, создание ЦММ и экспорт данных в популярных форматах
		IndorCloud	IndorCAD	Система IndorCloud предназначена для просмотра, анализа и обработки облаков точек, полученных в результате лазерного сканирования или с применением других технологий

³Цифровизация строительной отрасли в текущих условиях: курс на развитие. Режим доступа: <https://stroygaz.ru/publication/technologies/tsifrovizatsiya-stroitelnoy-otrasli-v-tekushchikh-usloviyakh-kurs-na-razvitiye/> (дата обращения: 14.02.2025).

⁴Заседание Набсовета и Общее собрание НОТИМ как повод для дискуссии о путях развития ТИМ. Режим доступа: <https://ancb.ru/publication/read/12978> (дата обращения: 14.02.2025).

Окончание табл.

Ключевой объект системы	Класс программного обеспечения	Наименование	Экосистема/платформа	Описание
Генплан	Системы компьютерного зрения (CVS)	КРЕДО НИВЕЛИР	Кредо	Программа камеральной обработки полевых измерений геометрического нивелирования I-IV классов, технического и высокоточного инженерного нивелирования, выполняемого оптическими и цифровыми нивелирами
	Системы BIM проектирования (BIM)	Топоматик Robur-Изыскания	Топоматик Robur	«Топоматик Robur-Изыскания» предназначен для обработки материалов инженерных изысканий и создания цифровой модели местности. Содержит инструментарий по импорту данных с цифровых приборов и обработке геодезических измерений, предусматривает использование материалов лазерного сканирования и оформление планшетов. Созданные в программе цифровые модели местности и геологии служат надежной основой для проектов, разрабатываемых в программных продуктах комплекса
		КРЕДО ГЕОКАРТЫ	Кредо	Профессиональное программное обеспечение для автоматизации работы инженера-геолога, предназначенное для создания пространственных моделей геологического строения местности, ввода данных по выработкам, анализа геологической изученности площадки или полосы изысканий, формирования различных вариантов представления объемной геологической модели (геокарты, 3D-вид), выпуска чертежей геологических срезом и ведомостей различного вида
		КРЕДО ДАТ		Позволяет выполнить камеральную обработку традиционных геодезических измерений и результатов постобработки спутниковых измерений разных классов точности в выбранной СК с возможностью учета модели геоида и комплекса редуционных поправок. Кроме того в системе выполняются разнообразные геодезические построения
		КРЕДО ОБЪЕМЫ		Служит для автоматизированного моделирования поверхностей, расчета объемов между поверхностями, ведения календарных графиков добычи и хранения сырья, строительных материалов, а также для выпуска текстовых и графических материалов по результатам расчетов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволило обосновать последующие направления деятельности в контексте создания комплексного импортонезависимого национального ТИМ-решения. Важнейшей задачей становится оценка используемого программного обеспечения пользователями. Вопросы доработки программного обеспечения с целью его адаптации под свои процессы только поставлены и

требуют уточнения по объемам и срокам необходимых работ. Общая рассогласованность действий разработчиков программного обеспечения и их пользователей потребует создания национальной (единой) BIM-платформы в рамках создания ПромТИМ.

Следует отметить наличие запроса на конвертацию имеющихся цифровых библиотек зарубежных программных продуктов в отечественные.

Эта деятельность также требует централизации и объединения усилий. Работа по созданию отечественной ПромТИМ началась, круг проблем очерчен, возникла необходимость

разработки стратегического плана цифровизации с включением инвестиционных рычагов ускорения разработки новых комплексных информационных технологий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Яськова Н.Ю., Зайцева Л.И. Формирующиеся тенденции развития строительного рынка в условиях нарастающего санкционного давления // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. № 12. С. 2025–2036. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2023.12.2025-2036>. EDN: XFNJFU.
2. Яськова Н.Ю., Сарченко В.И., Хиревич С.А. Комплексный подход к формированию качественной городской среды // Недвижимость: экономика, управление. 2020. № 2. С. 12–21. <https://doi.org/10.22227/2073-8412.2020.2.12-21>. EDN: HDYWVV.
3. Гевара Рада Л.Т., Пешков В.В., Мартыанов В.И., Радионова Е.А., Бужеева Ф.Г., Сайбаталова Е.В. Технологии информационного моделирования (BIM) как основа бережливого строительства // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 70–81. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-70-81>. EDN: TDEUOH.
4. Яськова Н.Ю., Зайцева Л.И., Викторов М.Ю. Проблемы реализации стратегии импортозамещения в строительстве // Вестник евразийской науки. 2022. Т. 14. № 4. С. 1–29. EDN: HHCHOO.
5. Яськова Н.Ю. Проектный пул развития новой экономики // Экономика и предпринимательство. 2018. № 4 (93). С. 246–249. EDN: YHKPYT.
6. Гелих О.Я., Покровская Н.Н., Фёдоров Д.А. Цифровая трансформация социальных институтов: блокчейн и смарт-контрактинг в регуляции рыночного поведения // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2021. № 6 (132). С. 124–128. EDN: SVLLZP.
7. Яськова Н.Ю., Зайцева Л.И. Альтернативы судебным методам разрешения хозяйственных споров в инвестиционно-строительной деятельности // Недвижимость: экономика, управление. 2019. № 2. С. 73–77. EDN: ARRAPV.
8. Олексин И.В. Применение системы-каталогизатора отечественного программного обеспечения для повышения эффективности процесса импортозамещения // NovalInfo.Ru. 2023. № 137. С. 3–6. EDN: PBFSVF.
9. Литвиненко И.П., Лебединская И.П. Компьютерные технологии и российское законодательство по защите информации // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2024. Т. 2. С. 431–434. EDN: QVNARJ.
10. Шлома А.С., Воронкин Е.Ю. Применение отечественного программного обеспечения в обучении WEB-разработки // Актуальные вопросы образования. 2023. № 2. С. 175–178. EDN: WBCESZ.
11. Лузина Н.П. Применение методик по управлению эффективностью и надежностью оборудования с использованием отечественного программного обеспечения // Нефть. Газ. Новации. 2024. № 5 (282). С. 40–42. EDN: FIAOTM.
12. Ляшова А.А., Гулякин Д.В. Программное обеспечение для расчетов конструкций в строительстве // Тенденции развития науки и образования. 2024. № 106-10. С. 57–60. <https://doi.org/10.18411/trnio-02-2024-555>. EDN: KYQSXL.
13. Александровский В.Г. Мобильные технологии в строительстве. Программное обеспечение на платформе Android. Ч. 1. // Инженерный вестник Дона. 2019. № 4 (55). С. 1–43. EDN: IEQRAE.
14. Нигай Е.А. Процесс цифровизации бизнеса: от точечной оцифровки бизнес-процессов к цифровой трансформации // ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика. 2022. № 2. С. 134–145.
15. Косовцева И.А., Арзуманов А.А., Дмитриева Д.Д., Чесноков А.С. Оцифровка данных в строительной отрасли – планирование и строительство // Строительство и недвижимость. 2023. № 2 (13). С. 34–38. EDN: ZFIWPZ.
16. Панов А.В. Оцифровка бизнес-процессов в экономике как отражение процессов цифровизации общества // Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. 2024. Т. 21. № 1 (133). С. 128–134. <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2024-1-128-134>. EDN: LRQYJV.
17. Lesniak A., Górka M., Skrzypczak I. Barriers to BIM Implementation in Architecture, Construction, and Engineering Projects – The Polish Study // Energies. 2021. Vol. 14. Iss. 8. P. 1–20. <https://doi.org/10.3390/en14082090>.
18. Aleksandrova E., Vinogradova V., Tokunova G. Integration of Digital Technologies in the Field of Construction in the Russian Federation // Engineering Management in Production and Services. 2019. Vol. 11. Iss. 3. P. 38–47. <https://doi.org/10.2478/emj-2019-0019>. EDN: DNNNGG.
19. Поляков П.С., Росляева М.Н., Прокин А.А. Линейное программирование как инструмент для принятия решений // E-Scio. 2020. № 3 (42). С. 569–575. EDN: AYBSLC.

20. Смородина Е.П., Грипунова А.Н. Олигополия и теория игр в современной экономике // Цифровая и отраслевая экономика. 2024. № 4 (36). С. 105–109. EDN: KDHLBZ.
21. Sbiti M., Beddiar K., Beladjine D., Perrault R., Mazari B. Toward BIM and LPS Data Integration for Lean Site Project Management: A State-of-the-Art Review and Recommendations // Buildings. 2021. Vol. 11. P. 1–19. <https://doi.org/10.3390/buildings11050196>.
22. Davenport T.H. Big Data at Work: Dispelling the Myths, Uncovering the Opportunities. Brighton: Harvard Business Review Press, 2014. 121 p.
23. Huang X. Application of BIM Big Data in Construction Engineering Cost // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1865. P. 1–7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1865/3/032016>.
24. Ефимова Т.Б. Инструменты и методы анализа социальных сетей // Наука XXI века: актуальные направления развития. 2020. № 1-2. С. 101–104. EDN: VVKVTR.
25. Taylor A.M., Chen Y., Estes T.E., Hanks R.L., Ramey Z.M. Big Data Analytics: Megatrends to Business Success // International Auditing. 2017. Vol. 32. Iss. 4. P. 26–32.
26. Evans M., Farrell P., Zewein W., Mashali A. Analysis Framework for The Interactions between Building Information Modelling (BIM) and Lean Construction on Construction Mega-Projects // Journal of Engineering, Design and Technology. 2021. Vol. 19. Iss. 6. P. 1451–1471. <https://doi.org/10.1108/JEDT-08-2020-0328>.
27. Степанов А.В., Матвеева М.В., Пешкова Е.С. Цифровизация строительной отрасли: перспективы и вызовы // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 2. С. 356–366. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-2-356-366>. EDN: SJHHTK.
28. Головина Н.В., Матвеева М.В. Совершенствование системы ценообразования в строительстве: технологии информационного моделирования и переход регионов на ресурсно-индексный метод // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 3. С. 410–422. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-3-410-422>. EDN: RVBLXX.
29. Sepasgozar S.M.E., Hui F.K.P., Shirowzhan S., Foroozanfar M., Yang L., Aye L. Lean Practices Using Building Information Modeling (BIM) And Digital Twinning for Sustainable Construction // Sustainability. 2021. Vol. 13. Iss. 1. P. 1–22. <https://doi.org/10.3390/su13010161>.
30. Latorre U.A., Sanz C., Sánchez B. Application Of Lean-BIM Model To Improve Design Building Phase's Productivity // Informes De La Construcción. 2019. Vol. 71. Iss. 556. P. 1–9.
31. Turovets Yu.V., Vishnevskiy K.O. Standardization in Digital Manufacturing: Implications for Russia and the EAEU // Business Informatics. 2019. Vol. 13. Iss. 3. P. 78–96. <https://doi.org/10.17323/1998-0663.2019.3.78.96>.
32. Уварова С.С., Паненков А.А., Сонин Я.Л. Цифровизация строительства в проекции теории организационно-экономических изменений // Экономика строительства. 2020. № 1 (61). С. 31–39. EDN: IRKQMO.

REFERENCES

1. Yaskova N.Yu., Zaitseva L.I. Emerging Trends in The Development of the Construction Market Under the Growing Sanctions Pressure. *Vestnik MSCU*. 2023;18(12):2025-2036. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2023.12.2025-2036>. EDN: XFNJFU.
2. Yaskova N.Yu., Sarchenko V.I., Khirevich S.A. Integrated Approach to the Formation of a Quality Urban Environment. *Real Estate: Economy, Management*. 2020;2:12-21. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/2073-8412.2020.2.12-21>. EDN: HDYWVW.
3. Gevara Rada L.T., Peshkov V.V., Martyanov V.I., Radionova E.A., Buzheeva F.G., Saibatalova E.V. Information Modeling of Technologies (BIM) as a Basis for Lean Construction. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(1):70-81. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-70-81>. EDN: TDEUOH.
4. Yaskova N.Yu., Zaitseva L.I., Viktorov M.Yu. Problems of Implementation of Import Substitution Strategy in Construction. *Bulletin of Eurasian Science*. 2022;14(4):1-29. (In Russ.). EDN: HHCHOO.
5. Yaskova N.Yu. Project Pool of the New Economy Development. *Economics and Entrepreneurship*. 2019;2:73-77. (In Russ.). EDN: YXKPYT.
6. Gelikh O.Ya., Pokrovskaya N.N., Fedorov D.A. Digital Transformation of Social Institutions: Blockchain and Smart Contracting in the Regulation of Market Behavior. *Proceedings Saint Petersburg State Economic University*. 2021;6(132):124-128. (In Russ.). EDN: SVLLZP.
7. Yaskova N.Yu., Zaitseva L.I. Alternatives to Judicial Methods of Resolving Economic Disputes in Investment and Construction Activity. *Real Estate: Economy, Management*. 2019;2:73-77. (In Russ.). EDN: ARRAPV.
8. Oleksin I.V. Application of the Cataloging System of the Domestic Software for Increasing the Efficiency of the Import Substitution Process. *Novainfo.Ru*. 2023;137:3-6. (In Russ.). EDN: PBFSVF.

9. Litvinenko I.P., Lebedinskaya I.P. Computer Technologies and Russian Legislation on Information Protection. *Scientific, Technical and Economic Cooperation of APR Countries in the XXI Century*. 2024;2:431-434. (In Russ.). EDN: QVNARJ.
10. Shloma A.S., Voronkin E.Yu. Application of Domestic Software in Teaching WEB-Development. *Actual Issues of Education*. 2023;2:175-178. (In Russ.). EDN: WBCESZ.
11. Luzina N.P. Application of Methods for Equipment Efficiency and Reliability Management Using Domestic Software. *Oil. Gas. Innovations*. 2024;5(282):40-42. (In Russ.). EDN: FIAOTM.
12. Lyashova A.A., Gulyakin D.V. Software for Calculations of Structures in Construction. *Trends of Science and Education Development*. 2024;106-10:57-60. (In Russ.). <https://doi.org/10.18411/trnio-02-2024-555>. EDN: KYQSXL.
13. Aleksandrovskii V.G. Mobile Technologies in Construction. Software on Android Platform. P. 1. *Engineering Bulletin of Don*. 2019;4(55):1-43. (In Russ.). EDN: IEQRAE.
14. Nigai E.A. The Process of Business Digitalization: From Point Digitization of Business Processes to Digital Transformation. *ETAP: Economic Theory, Analysis, Practice*. 2022;2:134-145. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2071-6435-2022-2-134-145>. EDN: EVSWNX.
15. Kosovtseva I.A., Arzumanov A.A., Dmitrieva D.D., Chesnokov A.S. Digitization of Data in The Construction Industry – Planning and Construction. *Construction and Real Estate*. 2023;2(13):34-38. (In Russ.). EDN: ZFIWPZ.
16. Panov A.V. Digitization of Business Processes in The Economy as A Reflection of The Processes of Digitalization of Society. *Bulletin of the Plekhanov Russian University of Economics*. 2024;21(1):128-134. (In Russ.). <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2024-1-128-134>. EDN: LRQYJV.
17. Lesniak A., Górka M., Skrzypczak I. Barriers to BIM Implementation in Architecture, Construction, and Engineering Projects – The Polish Study. *Energies*. 2021;14(8):1–20. <https://doi.org/10.3390/en14082090>.
18. Aleksandrova E., Vinogradova V., Tokunova G. Integration of Digital Technologies in the Field of Construction in the Russian Federation // *Engineering Management in Production and Services*. 2019;11(3):38-47. <https://doi.org/10.2478/emj-2019-0019>. EDN: DNNNGG.
19. Polyakov P.S., Roslyayeva M.N., Prokin A.A. Roslyayeva M.N., Prokin A.A. Linear Programming as a Tool for Decision Making. *E-Scio*. 2020;3(42):569-575. (In Russ.). EDN: AYBSLC.
20. Smorodina E.P., Gripunova A.N. Oligopoly and Game Theory in Modern Economics. *Digital and Sectoral Economics*. 2024;4(36):105-109. (In Russ.). EDN: KDHLBZ.
21. Sbiti M., Beddiar K., Beladjine D., Perrault R., Mazari B. Toward BIM and LPS Data Integration for Lean Site Project Management: A State-of-the-Art Review and Recommendations. *Buildings*. 2021;11:1-19. <https://doi.org/10.3390/buildings11050196>.
22. Davenport T.H. *Big Data at Work: Dispelling the Myths, Uncovering the Opportunities*. Brighton: Harvard Business Review Press, 2014. 121 p.
23. Huang X. Application of BIM Big Data in Construction Engineering Cost. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;1865:1-7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1865/3/032016>.
24. Efimova T.B. Tools and Methods for Analyzing Social Networks. *Science of the XXI Century: Actual Directions of Development*. 2020;1-2:101-104. (In Russ.). EDN: VVKVTR.
25. Taylor A.M., Chen Y., Estes T.E., Hanks R.L., Ramey Z.M. Big Data Analytics: Megatrends to Business Success. *International Auditing*. 2017;32(4):26-32.
26. Evans M., Farrell P., Zewein W., Mashali A. Analysis Framework for The Interactions between Building Information Modelling (BIM) and Lean Construction on Construction Mega-Projects. *Journal of Engineering, Design and Technology*. 2021;19(6):1451-1471. <https://doi.org/10.1108/JEDT-08-2020-0328>.
27. Stepanov A.V., Matveeva M.V., Peshkova E.S. Digitalization of the Construction Industry: Prospects and Challenges. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(2):356-366. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-2-356-366>. EDN: SJHHKT.
28. Golovina N.V., Matveeva M.V. Improvement of the Pricing System in Construction: Information Modeling Technologies and the Transition of Regions to the Resource-Index Method. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(3):410-422. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-3-410-422>. EDN: RVBLXX.
29. Sepasgozar S.M.E., Hui F.K.P., Shirowzhan S., Foroozanfar M., Yang L., Aye L. Lean Practices Using Building Information Modeling (BIM) and Digital Twinning for Sustainable Construction. *Sustainability*. 2021;13(1):1-22. <https://doi.org/10.3390/su13010161>.
30. Latorre U.A., Sanz C., Sánchez B. Application of Lean-BIM Model to Improve Design Building Phase's Productivity. *Informes De La Construcción*. 2019;71(556):1-9.
31. Turovets Yu.V., Vishnevski K.O. Standardization in Digital Manufacturing: Implications for Russia and the EAEU. *Business Informatics*. 2019;13(3):78-96. <https://doi.org/10.17323/1998-0663.2019.3.78.96>.
32. Uvarova S.S., Panenkov A.A., Sonin Y.L. Digitalization of Construction in the Projection of the Theory of Organizational and Economic Changes. *Construction Economics*. 2020;1(61):31-39. (In Russ.). EDN: IRKQMO.

Информация об авторах

Викторов Михаил Юрьевич,
д.э.н., доцент, доцент кафедры
инвестиционно-строительного бизнеса
и управления недвижимостью,
Российская академия народного хозяйства
и государственной службы при Президенте
Российской Федерации,
119571, г. Москва, пр-т Вернадского, 82, Россия,
✉ e-mail: viktorov-my@ranepa.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1672-9448>
Author ID: 288130

Бурлуцкий Николай Александрович,
соискатель кафедры
инвестиционно-строительного бизнеса
и управления недвижимостью,
Российская академия народного хозяйства
и государственной службы при Президенте
Российской Федерации,
119571, г. Москва, пр-т Вернадского, 82, Россия,
e-mail: noc@email.su

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 22.02.2025.
Одобрена после рецензирования 28.02.2025.
Принята к публикации 03.03.2025.

Information about the authors

Mikhail Yu. Viktorov,
Dr. Sci. (Econ.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Investment and Construction Business
and Real Estate Management,
Russian Presidential Academy of National
Economy and Public Administration,
82 Vernadskogo Ave., Moscow 119571, Russia,
✉ e-mail: viktorov-my@ranepa.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-1672-9448>
Author ID: 288130

Nikolay A. Burlutsky,
Coresearcher of the Department of Investment
and Construction Business and Real Estate
Management,
Russian Presidential Academy of National
Economy and Public Administration,
82 Vernadskogo Ave., Moscow 119571,
Russia,
e-mail: noc@email.su

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests
regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and ap-proved
by all the co-authors.

Information about the article

The article was submitted 22.02.2025.
Approved after reviewing 28.02.2025.
Accepted for publication 03.03.2025.



Инвестиционные горизонты совместной деятельности по достижению целей национальных проектов

Н.Ю. Яськова^{1✉}, С.Ю. Самойлов²

^{1,2}Российская академия народного хозяйства и государственной службы
при Президенте Российской Федерации, Москва, Россия

Аннотация. Скорость экономических трансформаций, необходимых для достижения целей национальных проектов, зависит от множества факторов. Российская экономика за последние три года выработала иммунитет к внешним дестабилизирующим факторам. Активно формирующийся технологический пакет инвестирования сфокусирован на решении крупномасштабных проблем преодоления технологической зависимости и отставания. Структурно-динамический анализ характера инвестирования показал преобладание централизованного бюджетного финансирования, продолжающееся снижение доли частных инвестиций и фактическое отсутствие коллективных инвестиций в микро-проекты. Систематизация инвестиционных технологий и выявление перспектив их развития позволили доказать несущественное влияние инвестиционных технологий обеспечения микро-проектов на решение задач создания комфортной городской среды и реализацию экологических проектов. Предлагаемый комплексный механизм крауд-инвестирования проекта использования специализированного оборудования по переработке пищевых отходов масштабируется не только для использования в многоквартирных жилых районах, но и в районах исторической застройки. Современный формат стимулирования инвестиционной активности предполагает включение всех типов инвесторов в инвестиционные процессы, пронизывающие все этапы реализации проектов федерального, окружного, субфедерального, регионального, территориального, городского и внутригородского уровней. Цифровой формат их реализации снимает ряд препятствий расширения крауд-инвестирования, развивая при этом диалоговые режимы взаимодействия участников инвестиционных процессов, выявляя потребности горожан и улучшая не только экологию, но и социальный климат города.

Ключевые слова: механизм инвестирования, инвестиционно-строительный проект, экология, комфортная среда, диалоговые режимы, информационные технологии

Для цитирования: Яськова Н.Ю., Самойлов С.Ю. Инвестиционные горизонты совместной деятельности по достижению целей национальных проектов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 1. С. 20–30. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-20-30>. EDN: UKLEAN.

Original article

Investment prospects of joint activities for meeting the objectives of national projects

Natalia Yu. Yaskova^{1✉}, Stanislav Yu. Samoilov²

^{1,2}Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia

Abstract. Over the past three years, the Russian economy has developed immunity to external destabilizing factors. However, the dynamics of economic transformation that is required to achieve the goals of the national projects depends on a multitude of factors. Currently, the technological investment package that is being actively formed is focusing on large-scale issues of overcoming technological dependence and lagging behind. A structural and dynamic analysis of the investment character demonstrated the predominance of centralized budget financing, the continuing decrease in the share of private investment,

and the actual absence of collective investment in microprojects. Furthermore, the study revealed the insignificant impact of investment technologies of microproject provision on creating a comfortable urban environment and the implementation of environmental projects. A complex mechanism for crowdfunding the project of using specialized equipment for food waste processing is proposed, which is scalable for application not only in multiapartment residential areas, but also in areas of historical buildings. The modern approach to stimulating investment activity involves all types of investors in investment processes that permeate all stages of project implementation at the federal, district, sub-federal, regional, territorial, city, and inner-city levels. The digital format of their implementation removes a number of obstacles to the expansion of crowdfunding, while developing dialogue modes of interaction between participants in investment processes, identifying the needs of city residents and improving not only the environment, but also the social climate of the city.

Keywords: investment mechanism, investment and construction project, ecology, comfortable environment, dialog modes, information technologies

For citation: Yaskova N.Yu., Samoilov S.Yu. Investment prospects of joint activities for meeting the objectives of national projects. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(1):20-30. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-20-30>. EDN: UKLEAN.

ВВЕДЕНИЕ

Ускоренный режим экономических трансформаций требует адекватного роста инвестиционной активности, что в свою очередь предполагает активизацию всех источников инвестирования, поиска эффективных инвестиционных технологий, сопряжения и синхронизации инвестиционных механизмов на всех уровнях государственного управления.

При активизации инвестиционных механизмов на государственном уровне удалось обеспечить развитие при санкциях.

Страна справилась с внутренними вызовами развития в ряде отраслей, продолжился рост беспрецедентно большого объема строительства как в промышленной, инфраструктурной, так и в жилищной и социальной сферах.

Целевой фокус последних трех лет развития страны был сосредоточен на глобальных и крупномасштабных проектах, направленных на изменение качества жизни граждан.

Они представлены в целях национальных проектов, их ресурсное обеспечение вменено Правительству Российской Федерации и профильным министерствам, крупным региональным хозяйственным субъектам и институтам развития¹.

Средства населения аккумулировались на депозитных счетах коммерческих банков, достигнув, по данным Центрального банка, более 50 трлн руб., а инвестиционные предложения носили фрагментарный характер².

Проблема повышения инвестиционной активности многократно обсуждалась^{3,4,5}.

Внимание уделялось законодательным поправкам, связанным с созданием благоприятного инвестиционного климата, условиям привлечения внешних инвестиций, деятельности институтов развития, структуре портфеля крупномасштабных проектов. Механизмы финансирования микро-проектов традиционно оставались за пределами стратегического фокуса развития. В связи с этим ряд проблем, например, экологических, стал носить хронический характер [1]. Преодоление структурного дисбаланса инвестирования проектов различного вида и масштаба актуализируется по мере усложнения целей поддержания и повышения качества жизни населения [2].

МЕТОДЫ

Анализ инвестиционной активности показал, что за последние три года сформировался технологический пакет новых инвестиционных технологий [3, 4]. Наиболее эффективными и

¹Национальные проекты России. Режим доступа: <https://xn--80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/> (дата обращения: 12.02.2025).

²Рекордный объем средств вкладчиков: как ими пользуются банки и что важно знать инвестору. Режим доступа: <https://bcs-express.ru/novosti-i-analitika/rekordnyi-obiem-sredstv-vkladchikov-kak-imi-pol-zuiutsia-banki-i-cto-vazhno-znat-investoru?ysclid=m7c3uq5lg9713148447> (дата обращения: 14.02.2025).

³Московский финансовый форум. Режим доступа: <https://mff.minfin.ru/?ysclid=m7c495vjxk974104066> (дата обращения: 14.02.2025).

⁴Петербургский международный экономический форум. Режим доступа: <https://rg.ru/forumspb> (дата обращения: 14.02.2025).

⁵Международный дискуссионный клуб «Валдай». Режим доступа: <https://ru.valdaiclub.com/?ysclid=m7c4e1w0k365871178> (дата обращения: 14.02.2025).

быстро развивающимися, по мнению экспертного сообщества^{6,7,8}, технологиями стали следующие, представленные далее по тексту.

Технологии проектного финансирования (инициатор ВЭБ РФ)

Объединенными усилиями инициатора, СберБанка, Внешнего торгового банка, Газпромбанка и Промсвязьбанка в 2018 г. был создан новый институт развития в форме Фабрики проектного финансирования⁹.

К началу 2023 г. ей запущена и оказывается поддержка технологического развития на сумму 11 трлн руб. Также подготовлен пул проектов, которые будут финансироваться в 2024 г. Совокупный объем финансирования, включая 2024 г., составит 17 трлн руб. (в настоящее время объем уточняется Счетной Палатой Российской Федерации). Следует отметить, что перспективное финансирование и запуск новой линейки проектов будет осуществляться с опорой на компетенции Фонда развития промышленности (ФРП) по выбранным им проектам, но с замещением заемных средств ФРП средствами ВЭБа. Таким образом долгосрочные и крупномасштабные проекты, одобренные Минпромторгом Российской Федерации, будут профинансированы в объеме более 2 трлн руб. свободных средств банков¹⁰.

Серьезным препятствием для решения этой задачи является отсутствие проектной документации. Также практика показала необходимость изменения риск-модели оценки новых проектов с выходом на оценку рисков по портфельному принципу [5]. Интенсивно разрабатываются цифровые регламенты новых подходов [6]. Расширение зоны покрытия финансового дефицита по проектам технологического развития оценивается Минпромторгом Российской Федерации на уровне 20 %.

Фондовые технологии заимствований

Наиболее развитой формой в настоящее время следует признать деятельность Фонда развития промышленности (инициатива Правительства Российской Федерации). С 2022 по 2024 г. характеризовались ростом размеров займов от 5 млн до 5 млрд руб. Они выдавались под 1–3 % годовых сроком до 10 лет. В результате с 2020 г. более 500 профинансированных предприятий открыли новые производства и вышли в режим окупаемости [7]. Особенности фондовых технологий, такие как прозрачность принятия решения о выдаче займа, электронный документ, стабильность условий, возможность погашения тела кредита, начиная с четвертого года, развитый консалтинг, перспективы заключения специальных инвестиционных контрактов и др. предопределяют дальнейшую ускоренную докапитализацию ФРП с возможностью включения фонда в программу промипотеки¹¹.

Технология промышленной реновации (инициатива Торгово-промышленной палаты Российской Федерации)

Ее цель – дать вторую жизнь старым заводам. Пилотный проект реновации предприятий «Браунфилд» начали реализовывать в 2020 г.^{12,13}

В настоящее время запущено шесть проектов, в работе 30 проектов. Технология промышленной реновации заключается в сносе, переработке и продаже вторичных ресурсов, образовавшихся в результате демонтажа (металл, щебень, кирпичная крошка), производимого специализированной компанией «Александр ГРАДЪ».

Осуществляя реновацию площадок, компания освобождает территорию, компенсирует затраты за счет реализации востребованного

⁶Московский урбанистический форум. Режим доступа: <https://mosurbanforum.ru/areas/gostiniy-dvor/?ysclid=locwasm03s994323006> (дата обращения: 27.01.2025).

⁷IV Ежегодный отраслевой форум «Управление строительством в России. Строительный бизнес: перезагрузка 2023». Режим доступа: <https://smrte.ru/events/4-forum-2023/?ysclid=locwdejf2n591551923> (дата обращения: 27.01.2025).

⁸Девелоперский форум 2023: все ключевые игроки рынка недвижимости на одной площадке. Режим доступа: <https://repa-pr.ru/developerskiy-forum-2023-vse-kljuchevye-igroki-rynka-nedvizhimosti-na-odnoj-ploshhadke/?ysclid=locwep90ei792634941> (дата обращения: 27.01.2025).

⁹Постановление Правительства РФ от 15 февраля 2018 г. № 158 «О программе «Фабрика проектного финансирования»» (с изменениями и дополнениями).

¹⁰Дорофеев М.Л. Государственные заимствования Российской Федерации: проблемы привлечения в современных условиях. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/gosudarstvennye-zaimstvovaniya-rossiyskoy-federatsii-problemy-privlecheniya-v-sovremennyh-usloviyah> (дата обращения: 30.01.2025).

¹¹Фонд развития промышленности. Режим доступа: <https://frprf.ru/?ysclid=locwyc27wr963321994> (дата обращения: 28.12.2024).

¹²Торгово-промышленная палата Российской Федерации. Специальный ESG-проект промышленной реновации «БРАУНФИЛД». Режим доступа: <https://brownfield.tpprf.ru/> (дата обращения: 20.12.2024).

¹³ТПП РФ предложила заняться реновацией устаревших предприятий в рамках ESG-тренда. Режим доступа: https://finance.rambler.ru/economics/48087530/?utm_content=finance_media&utm_medium=read_more&utm_source=copylink (дата обращения: 29.12.2024).

вторичного материала, соблюдает стандарты, не наносящие ущерба окружающей среде. Для регионов, располагающих заброшенными промышленными объектами, находящимися в аварийном состоянии, это возможность подготовить площадки для дальнейшей застройки без дополнительных затрат.

Торги на строительство «под ключ» (инициировано Минстроем Российской Федерации)

В один лот объединяются проектирование, изыскания, строительство и поставка оборудования.

Технология государственного проекта «под ключ» позволяет существенно сократить срок реализации проекта, а также упрощает создание цифрового двойника, позволяющего реализовать все преимущества информационных технологий.

На сегодняшний день доля таких торгов составляет 3–5 % от общего количества, при том, что использование технологий «под ключ» экономит до 15 % времени вывода проекта в рабочий режим операционной деятельности [8]. Предположительно доля контрактов указанного типа в ближайшие два года должна быть доведена до 20 %.

Технология налогового вычета

Предполагает освобождение части прибыли, направляемой на обновление основных фондов, от налогообложения. Окончательного, согласованного с Минфином и Налоговой службой Российской Федерации, решения пока нет. Но поручение президента по оценке эффективности налогового вычета дано осенью текущего года [9].

Вовлечение сбережений граждан

Вовлечение сбережений граждан в различные варианты государственного проектного финансирования при условии роста гарантий сохранности от Агентства по страхованию вкладов на сумму до 2,8 млн руб., налоговых льгот и др. Проработка возможных моделей участия средств населения осуществляется Фабрикой проектного финансирования совместно с ФРП.

В сегменте корпоративного финансирования строительных проектов наиболее востребованными становятся следующие инициативы.

Технологии промышленной ипотеки (инициатива Минстроя Российской Федерации)

Позволяют в настоящее время осуществлять инвестиции в приобретение промышленных объектов. В ближайшей перспективе механизм промипотеки будет распространяться на новое строительство, реконструкцию, капитальный ремонт или реновацию под залог обновляемой недвижимости промышленного типа. Кроме того, размер, сроки и условия кредитования в настоящее время изменяются соответственно конкретным потребностям (по срокам в настоящее время обсуждается возможность их увеличения до 10 лет, по объемам кредита – до 1,5 млрд руб. и снижению ипотечной ставки с 7 до 3 % годовых). Общий объем промипотеки предположительно сможет погасить до 10 % потребностей в инвестициях в объекты недвижимости производственного назначения. Предполагается, что строительство новых производств с использованием технологии промипотеки способно сокращать срок вывода на проектную мощность с шести месяцев и до двух лет^{14,15}.

Технологии инфраструктурной ипотеки (инициатор Минэкономразвития Российской Федерации)

Они нацелены на рост инвестиционной активности в сфере обновления, нового строительства и реконструкции транспортной инфраструктуры. В основе технологии – предоставление капитального гранта частному партнеру [10]. А

кумуляция средств будет осуществляться путем облигационного займа, обеспеченного государственными гарантиями. Для усиления привлекательности инфраструктурной ипотеки предполагается использовать технологии предоставления налоговых льгот.

Сфера использования указанной инвестиционной технологии касается строительных проектов, не обладающих коммерческой инвестиционной привлекательностью, а также проектов, которые не могут быть реализованы с использованием концессионных технологий [11].

Пока технология не приобрела регламентного характера, и, несмотря на одобрение экспертного сообщества, ее запуск был отложен до середины 2024 г.

Финансирование смешанного типа

Оно базируется на использовании инвестиционных технологий, согласующих экономические интересы государства и частного бизнеса.

¹⁴Основные тренды и статистика рынка ГЧП по итогам 2022 года. Режим доступа: <https://pppcenter.ru/upload/iblock/2a0/2a0fc28e87a60d5efb9b37b0207db764.pdf> (дата обращения: 29.01.2025).

¹⁵Федеральный закон РФ «О государственно-частном партнерстве, муниципально-частном партнерстве в Российской Федерации и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 13.07.2015 № 224-ФЗ (с изм. и доп. от 11.06.2022 № 154-ФЗ).

Основным типом указанных технологий являются технологии государственно-частного партнерства (ГЧП) [12–14]. Как форма публично-частного партнерства, она базируется на долгосрочном взаимодействии государства (публичный партнер) и бизнеса. Бизнес участвует в создании и эксплуатации объекта капитального строительства на всех этапах жизненного цикла полностью или частично финансируя строительные процессы, принимая на себя риски удорожания, качества, технического обслуживания и др. В настоящее время осуществляется активный поиск наиболее эффективных практик.

Особо подчеркнем важность ГЧП в решении проблем обеспечения технологического суверенитета. В частности, приобретают распространение технологии офсетного контракта с государственной гарантией закупок продукции новых производств, строительство которых профинансировано частной компанией. При этом ряд условий офсетного контракта были изменены:

- представлена возможность участия нескольких субъектов федерации в офсетном контракте;
- снижен минимум суммы сделки с 1 млрд руб. до 100 млн руб.;
- разрешено участие субъектам малого и среднего предпринимательства.

Оптимистичные ожидания подтвердит практика. В течение последних двух лет уже заключено около 20 офсетных контрактов.

Перезапуск технологий специального инвестиционного контракта связан с изменением уполномоченной организации. Ею стала государственная корпорация ВЭБ.РФ. В работе 75 заявок на реализацию общей стоимостью более 1,5 трлн руб.

Это связано со строительством новых заводов. Например, по производству метанола в Волгоградской области. Его стоимость 74 млрд руб. Важно, что в связи с уходом западных инвесторов предусматривается возможность корректировки условий контракта.

Инвестиционные технологии жилищного рынка

По характеру вложений и типу партнерского взаимодействия подразделяются на:

- технологии самофинансирования (строительство объектов индивидуального жилищного строительства за счет собственных средств);
- ипотечное и траншевое кредитование готового и строящегося жилья;

- долевое финансирование и паевое участие, предполагающее коллективные вложения в строительство жилья. В первом случае с участием банков и переходом к проектному финансированию, а во втором с использованием ранее рассмотренных фондовых механизмов;
- инвестиционное замещение жилого фонда по программе реновации [15].

Регулятор особое внимание уделяет реализации технологий самофинансирования, обслуживающей индивидуальное жилищное строительство. В настоящее время она характеризуется невозможностью обеспечения должного качества, безопасности и ликвидности объектов. На фоне растущих потребностей, а каждое четвертое домохозяйство планирует построить индивидуальный жилой дом, востребованы долгосрочные системные решения с использованием потенциала информационных технологий [16, 17].

Паевые технологии инвестирования в строительные проекты.

В их основе аккумуляция средств множества вкладчиков в специально создаваемый фонд с целью инвестирования в любой тип активов (в нашем случае в недвижимость). Законом предусмотрено три типа фондов: открытый, интервальный, закрытый в зависимости от характера купли/продажи паев¹⁶.

Закрытый тип паевого фонда наиболее успешно применяется на создании и последующей сдаче в аренду объектов недвижимости [18].

На практике паевые технологии применяются в редких случаях, касаясь в основном строительства объектов доходной недвижимости в сегментах малого и среднего бизнеса. Их возможное масштабирование видится в использовании различных моделей страховки паев. Инициатором развития этих технологий, вероятно, станут региональные органы власти.

Крауд-технологии

Технологии распределенного кредитования, решающие проблемы финансирования микро-проектов на основе создания механизма аккумуляции и эффективного вложения частных инвестиций. Мировая практика показала эффективность технологий распределенного типа кредитования в нескольких формах:

- краудсорсинга, в основе которого привлечение к решению проблемы на добровольной основе широкого круга лиц [19];
- краудфандинга – народно-общественное финансирование, объединяющее ресурсы для поддержки усилий инициаторов проекта [20];

¹⁶Федеральный закон «Об инвестиционных фондах» от 29.11.2001 г. № 156-ФЗ (последняя редакция).

– краудинвестинга в качестве инструмента привлечения капитала в стартапы и др. [21]. Этот тип инвестиционных технологий широко распространен в США, Великобритании и др. Его потенциал в России только предстоит раскрыть.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование систематизированных авторами динамично развивающихся инвестиционных технологий показывает, что их целевой фокус направлен на поддержание заданных темпов реализации крупномасштабных проектов нового строительства, особенно в жилищной сфере, реновации, реконструкции и модернизации действующих инфраструктурных объектов производственного типа [22, 23]. Структурно-динамический анализ позволил установить доминирующую роль крупномасштабных проектов федерального уровня, финансируемых из государственного бюджета (по общей оценке до 90 % от общего объема капитальных вложений). В проектной пуле городского развития в крупных городах по-прежнему преобладают проекты застройки многоквартирных объектов капитального строительства¹⁷.

Поддержание и улучшение качества городской среды вменяется застройщикам и городским властям, бюджетные возможности которых ограничены [24]. Между тем, ряд проблем требует незамедлительного решения [25]. Это обновление жилищно-коммунального хозяйства¹⁸.

Не менее актуальной является проблема поддержания экологического равновесия, в эпицентре которой находится сегмент обращения отходов жизнедеятельности. Проведенный анализ показал, что источники финансирования экологических проектов локального типа до сих пор не сформированы.

В целях определения возможного использования тех или иных технологий инвестирования следует уточнить масштаб проблемы. Анализ и прогноз динамики роста отходов жизнедеятельности показал, что ежегодно объем отходов растет на 2 %, а к 2050 г. он достигнет 100 млн т¹⁹.

В настоящее время перерабатывается только 7 % отходов, а 90 % отправляется на

полигоны, загрязняя земельные, воздушные и водные ресурсы. В результате общая площадь полигонов и свалок в стране превышает 4 млн га. 80 % из них переполнены и должны быть закрыты и рекультивированы. Особенность проблемы состоит в том, что она имеет ежедневно нарастающий характер при минимальном уровне инвестиционной активности. Городские бюджеты финансируют затраты исключительно по сбору и вывозу мусора, а планы по строительству мусороперерабатывающих заводов в связи с дефицитом централизованных инвестиционных ресурсов реализуются с большим отставанием²⁰.

Изучение зарубежного опыта, бенчмаркинг возможных подходов к решению проблемы и изыскания необходимых инвестиционных ресурсов позволили установить область возможных вариантов. В контексте использования нового концептуального принципа 3R (reduce, reuse, recycle), предотвращение образования отходов, их повторное использование, переработка во вторичные ресурсы подразделяется на следующие группы проектов:

1. Проекты по производству нового типа потребительских товаров безотходного типа. Эта группа проектов реструктурирует производственные мощности потребительского сегмента национальной экономики. Инвестиции по переоснащению производственной базы по объему, инновационной составляющей попадают в целевой фокус технологий проектного финансирования, а также фондовых технологий заимствований и др.

2. Проекты повторного использования и переработки во вторичные ресурсы. Их реализация зависит от характера отходов (состояния агрегации, состава, потенциала рециклинга и др.). Все виды отходов, подлежащие переработке на мусоросжигающих и мусороперерабатывающих производственных мощностях, требуют комплексного подхода реновации и модернизации соответствующей производственной инфраструктуры. Касательно утилизации пищевых отходов, лучшие мировые практики показали высокий потенциал реализации микро-проектов на новой инновационной основе использования специализированного

¹⁷Основные показатели жилищного строительства. Режим доступа: <https://xn--80az8a.xn--d1aqf.xn--p1ai/> (дата обращения: 12.02.2025).

¹⁸Марат Хуснуллин: Более 2 тыс. км коммунальных сетей обновили по программе с участием федерального бюджета с 2023 года. Режим доступа: <http://government.ru/news/54135/> (дата обращения: 12.02.2025).

¹⁹Ожидается, что к 2050 году объем отходов в мире вырастет до 3,4 млрд тонн. Режим доступа: https://www.vedomosti.ru/esg/protection_nature/columns/2023/03/16/966770-ozhidaetsya-cto-2050-godu-obem-othodov-mire-virastet-do-34-mlrd-tonn/ (дата обращения: 25.01.2025).

²⁰Московский финансовый форум. Режим доступа: <https://mff.minfin.ru/?ysclid=m7c495vjxk974104066> (дата обращения: 14.02.2025).

оборудования по переработке органических отходов в замкнутом контуре [26]. Так, уже более 20 лет в 40 странах используется оборудование компании GALA, внесенное в информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС15-2021. В процессе переработки органика изменяется, стерилизуется и усушивается до 80–90 %. Объемы варьируются в зависимости от модификации от 20 кг до 100 т и более органических отходов в цикле. Технические ограничения по электроснабжению и температурным режимам фактически отсутствуют.

Главное, что в результате переработки производится сухое органическое удобрение. Оно также может добавляться в корм для животных и использоваться в качестве биотоплива.

Тип проекта по приобретению и установке оборудования по переработке органических отходов относится к экологическому виду и востребован в период эксплуатации жилых фондов. Учитывая ограниченность инвестиционных возможностей городских бюджетов, наиболее приемлемыми из рассмотренных ранее инициатив являются краудтехнологии инвестирования. Возможности их практической реализации существенно расширяются за счет использования информационных технологий и платформенных решений.

В настоящее время информационные платформы взаимодействия жильцов многоквартирных жилых комплексов не новинка [27]. Жильцы консолидировано и на добровольных началах совместно инвестируют в различные микропроекты не только по улучшению комфорта проживания, но и по снижению жилищно-коммунальных платежей.

Преимуществами реализации проекта по приобретению и эксплуатации оборудования GALA с мощностью переработки органических отходов, производимых жилым комплексом, являются:

- снижение экологической нагрузки на дорожную инфраструктуру. За счет локализации

оборудования в местах сбора отходов. В этом случае высвобождается специализированный транспорт и минимизируются соответствующие выбросы CO₂ в атмосферу города;

- экономия части жилищно-коммунальных платежей за вывоз мусора;

- высокий потенциал импортозамещения отечественным оборудованием;

- образование удобрений, которые управляющие компании могут использовать для благоустройства и/или реализовывать городу;

- отсутствие технических ограничений по эксплуатации оборудования и др.

Расчет затрат на приобретение оборудования с мощностью переработки отходов 500-квартирного района застройки, то есть до 200 кг/цикл, показал, что вложение каждого домохозяйства составляет около 30 тыс. руб., которые полностью окупаются в течении 1,2 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях необходимости комплексного подхода к реализации целей национальных проектов повышение инвестиционной активности приобретает решающее значение. Запуск полноценного технологического пакета инвестирования проектов различного типа, пронизывающих не только все территориально-отраслевое пространство страны, но и все уровни управления, требует ликвидации дисбаланса источников инвестирования.

Государственные инвестиции необходимо поддерживать фондовыми, частными, паевыми, а также краудмеханизмами аккумуляции ресурсов развития.

Использование последних в целях поддержания экологического равновесия и повышения комфортности городской среды на примере утилизации пищевых отходов показало, что совместные инвестиционные инициативы с использованием платформенных решений способны не только ускорить решение проблем городского развития в экономически эффективном режиме, но и создать промышленные сегменты импортозамещения [28–30].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Антонова О.А. Экономика совместного использования и ее влияние на повышение качества жизни населения // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. 2022. Т. 16. № 3. С. 38–47. <https://doi.org/10.14529/em220305>. EDN: NABPGF.
2. Грищук В.А., Федонина П.А. Влияние муниципальной политики на повышение качества жизни населения // Общество, экономика, управление. 2024. Т. 9. № 2. С. 30–36. <https://doi.org/10.47475/2618-9852-2024-9-2-30-36>. EDN: STZHNH.
3. Аликов Ю.А., Овчинников Н.К. Появление новых финансовых активов в цифровую эпоху: инвестиционные перспективы и тренд технологии блокчейн // Самоуправление. 2021. № 2 (124). С. 109–112. EDN: FNQVCV.
4. Шеин В.А. Финансовые технологии: инвестиционные перспективы и модели развития // Казанский экономический вестник. 2021. № 2 (52). С. 98–103. EDN: UOICHU.

5. Лизунова С.С. Проектное финансирование как инструмент цифровизации экономики // *Флагман науки*. 2023. № 9 (9). С. 645–647. EDN: VHSDGK.
6. Гельвих Э.А. Проектное финансирование, методы принятия решений о целесообразности финансирования проектов // *Человек. Социум. Общество*. 2024. № 12. С. 197–203. EDN: FGDQTY.
7. Степанов Н.С. Роль Фонда развития промышленности в области развития технологического суверенитета РФ // *Вестник Томского государственного университета. Экономика*. 2024. № 65. С. 5–18. <https://doi.org/10.17223/19988648/65/1>. EDN: ECLOEZ.
8. Окен К.А. Эффективность цифрового проектирования (технология «цифровой двойник») // *Валютное регулирование. Валютный контроль*. 2023. № 2. С. 20–26. EDN: UYFHWL.
9. Жутаев А.С., Онисенко Е.Э. Инвестиционный налоговый вычет как метод стимулирования инвестиционной деятельности в РФ // *Законность и правопорядок*. 2023. № 2 (38). С. 52–55. EDN: UKUNPY.
10. Петрикова Е.М. Инфраструктурная ипотека как инновационный инструмент финансирования российской экономики // *Банковское дело*. 2020. № 11. С. 56–61. EDN: YEOZEM.
11. Пешков В.В., Матвеева М.В., Рютин В.С. Концессия как инструмент модернизации инфраструктурных объектов // *Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология*. 2016. № 4 (37). С. 130–139. <https://doi.org/10.15688/jvolsu3.2016.4.11>. EDN: XYECTH.
12. Резвая А.Д., Гольм Д.О., Татарникова М.А. Государственно-частное партнерство как инструмент регионального развития // *Региональные проблемы преобразования экономики*. 2023. № 5 (151). С. 25–30. <https://doi.org/10.26726/1812-7096-2023-5-25-30>. EDN: ROSZJD.
13. Костина Н.Н. Государственно-частное партнерство и риски финансового взаимодействия государства и корпораций // *Экономика и предпринимательство*. 2023. № 2 (151). С. 843–846. <https://doi.org/10.34925/EIP.2023.151.2.164>. EDN: IWXYTR.
14. Мацукевич Н., Коврей В. Государственно-частное партнерство в управлении инвестиционной активностью региона // *Наука и инновации*. 2023. № 2 (240). С. 49–55. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-02-49-55>. EDN: GCQKMU.
15. Кострикин П.Н. Инвестиционное обеспечение развития недвижимости. М.: МАКС Пресс, 2015. 232 с. EDN: UGEZQN.
16. Безруких О.А., Матвеева М.В. Формирование рынка доступного жилья: методические и практические аспекты в условиях пространственно-экономической трансформации региона // *Жилищные стратегии*. 2022. Т. 9. № 2. С. 131–146. <https://doi.org/10.18334/zhs.9.2.114912>. EDN: LPHRIF.
17. Asif M., Naeem G., Khalid M. Digitalization for Sustainable Buildings: Technologies, Applications, Potential and Challenges // *Journal of Cleaner Production*. 2024. Vol. 450. P. 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141814>.
18. Kostrikin P. The Effectiveness of Housing Renovation Programs in the Russian Federation // *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 170. P. 1–8. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201817001088>.
19. Мотовиц Т.Г. Краудсорсинг – экосистема для развития бизнеса в цифровой среде // *Вестник Тихоокеанского государственного университета*. 2023. № 4 (71). С. 105–112. EDN: GIQGBX.
20. Ларинова Л.Ф., Колесниченко Ю.Н. Краудфандинг как инструмент инвестирования бизнеса // *Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля*. 2022. № 1 (55). С. 104–107. EDN: KALLSE.
21. Бакиева М.Ю. Краудинвестинг как перспективный инструмент финансирования инновационной деятельности строительных организаций // *Инновационная деятельность*. 2021. № 2 (57). С. 92–105. EDN: EXOALE.
22. Albuquerque R., Koskinen Y., Zhang C. Corporate Social Responsibility and Firm Risk: Theory and Empirical Evidence // *Management Science*. 2019. Vol. 65. Iss. 10. P. 4451–4469. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2018.3043>.
23. Bansal R., Ochoa M., Kiku D. Climate Change and Growth Risks // *Climate Change and Growth Risks. National Bureau of Economic Research Working Paper Series*. 2016. Vol. 23009. P. 1–39. <https://doi.org/10.3386/w23009>.
24. Amel-Zadeh A., Serafeim G. Why and How Investors Use ESG Information: Evidence from a Global Survey // *Financial Analysts Journal*. 2018. Vol. 74. Iss. 3. P. 87–103. <https://doi.org/10.2469/faj.v74.n3.2>.
25. Sparkes R., Cowton C.J. The Maturing of Socially Responsible Investment: A Review of Developing Link with Corporate Social Responsibility // *Journal of Business Ethics*. 2004. Vol. 52. Iss. 1. P. 45–57. <https://doi.org/10.1023/B:BUSI.0000033106.43260.99>.
26. Хлыновский А.М., Короткова Т.Ю., Пеленко В.В., Верхоланцев А.А. Разработка автономного комплекса утилизации органических отходов // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2019. № 3 (100). С. 170–179. <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2019-10200>. EDN: BLYQQX.

27. Степанов А.В., Матвеева М.В., Пешкова Е.С. Цифровизация строительной отрасли: перспективы и вызовы // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 2. С. 356–366. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-2-356-366>. EDN: SJHHT.
28. Яськова Н.Ю., Зайцева Л.И., Викторов М.Ю. Проблемы реализации стратегии импортозамещения в строительстве // Вестник евразийской науки. 2022. Т. 14. № 4. С. 1–29. EDN: HHCHOO.
29. Гладкий Ю.Н., Сухоруков В.Д. Экологическое равновесие: смыслы и регулирующие факторы // География и экология в школе XXI века. 2020. № 10. С. 3–8. EDN: ILIBWU.
30. Земенова А.Ж. Утилизация пищевых отходов // Студенческий вестник. 2020. № 16-8 (114). С. 84–87. EDN: TTGRGB.

REFERENCES

1. Antonova O.A. The Sharing Economy and Its Impact on The Quality of Life of The Population. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*. 2022;16(3):38-47. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/em220305>. EDN: NABPGF.
2. Grishchuk V.A., Fedonina P.A. Influence of Municipal Policy on Improving the Quality of Life. *Society, Economics, Management*. 2024;9(2):30-36. (In Russ.). <https://doi.org/10.47475/2618-9852-2024-9-2-30-36>. EDN: STZHN.
3. Alikov Yu.A., Ovchinnikov N.K. Emergence of New Financial Assets in the Digital Age: Investment Prospects and the Trend of Blockchain Technology. *Self-Governance*. 2021;2(124):109-112. (In Russ.). EDN: FNQVCV.
4. Shein V.A. Financial Technologies: Investment Prospects and Development Models. *Kazan Economic Bulletin*. 2021;2(52):98-103. (In Russ.). EDN: UOICHU.
5. Lizunova S.S. Project Financing as a Tool for Digitalization of the Economy. *Flagship of Science*. 2023;9(9):645-647. (In Russ.). EDN: VHSDGK.
6. Gelvikh E.A. Project Financing, Methods of Decision-Making on the Feasibility of Project Financing. *Human. The Society. Society*. 2024;12:197-203. (In Russ.). EDN: FGDQTY.
7. Stepanov N.S. Role of the Industrial Development Fund in the Development of Technological Sovereignty of the Russian Federation. *Bulletin of Tomsk State University. Economics*. 2024;65:5-18. (In Russ.). <https://doi.org/10.17223/19988648/65/1>. EDN: ECLOEZ.
8. Oken K.A. Efficiency of Digital Design (Digital Twin Technology). *Currency Regulation. Currency Control*. 2023;2:20-26. (In Russ.). EDN: UYFHWL.
9. Zhutaev A.S., Onisenko E.E. Investment Tax Deduction as A Method of Stimulating Investment Activity in The Russian Federation. *Legality and Law and Order*. 2023;2(38):52-55. (In Russ.). EDN: UKUHPY.
10. Petrikova E.M. Infrastructural Mortgage as an Innovative Tool for Financing the Russian Economy. *Banking*. 2020;11:56-61. (In Russ.). EDN: YEOZEM.
11. Peshkov V.V., Matveeva M.V., Ryutin V.S. Concession as a Tool of Infrastructure Facilities Modernization. *Bulletin of Volgograd State University. Series 3: Economics. Ecology*. 2016;4(37):130-139. (In Russ.). <https://doi.org/10.15688/jvolsu3.2016.4.11>. EDN: XYECTH.
12. Rezvaya A.D., Gol'm D.O., Tatarnikova M.A. Public-Private Partnership as a Tool for Regional Development. *Regional Problems of Economic Transformation*. 2023;5(151):25-30. (In Russ.). <https://doi.org/10.26726/1812-7096-2023-5-25-30>. EDN: ROSZJD.
13. Kostina N.N. Public-Private Partnership and Risks of Financial Interaction between the State and Corporations. *Economics and Entrepreneurship*. 2023;2(151):843-846. (In Russ.). <https://doi.org/10.34925/EIP.2023.151.2.164>. EDN: IWXYTR.
14. Matsukevich N., Kovrei V. Public-Private Partnership in the Management of Investment Activity of The Region. *Science and Innovations*. 2023;2(240):49-55. (In Russ.). <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-02-49-55>. EDN: GCQKMU.
15. Kostrikin P.N. *Investment Support of Real Estate Development*. Moscow.: MAKSPress, 2015. 232 p. (In Russ.). EDN: UGEZQN.
16. Bezrukih O.A., Matveeva M.V. Formation of the Affordable Housing Market: Methodological and Practical Aspects in the Conditions of Spatial and Economic Transformation of the Region. *Housing Strategies*. 2022;9(2):131-146. (In Russ.). <https://doi.org/10.18334/zhs.9.2.114912>. EDN: LPHRIF.
17. Asif M., Naeem G., Khalid M. Digitalization for Sustainable Buildings: Technologies, Applications, Potential and Challenges. *Journal of Cleaner Production*. 2024;450:1-19. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141814>.
18. Kostrikin P. The Effectiveness of Housing Renovation Programs in the Russian Federation. MATEC Web of Conferences. 2018;170:1-8. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817001088>.
19. Motovits T.G. Crowdsourcing – an Ecosystem for Business Development in the Digital Environment. *Bulletin of the Pacific State University*. 2023;4(71):105-112. (In Russ.). EDN: GIQGBX.
20. Larikova L.F., Kolesnichenko Yu.N. Crowdfunding as a Tool for Investing Business. *Bulletin of Vladimir Dahl Lugansk State University*. 2022;1(55):104-107. (In Russ.). EDN: KALLSE.

21. Bakieva M.Yu. Crowdfunding as A Promising Tool for Financing the Innovative Activity of Construction Organizations. *Innovative Activity*. 2021;2(57):92-105. (In Russ.). EDN: EXOALE.
22. Albuquerque R., Koskinen Y., Zhang C. Corporate Social Responsibility and Firm Risk: Theory and Empirical Evidence. *Management Science*. 2019;65(10):4451–4469. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2018.3043>.
23. Bansal R., Ochoa M., Kiku D. Climate Change and Growth Risks. *Climate Change and Growth Risks. National Bureau of Economic Research Working Paper Series*. 2016;23009:1-39. <https://doi.org/10.3386/w23009>.
24. Amel-Zadeh A., Serafeim G. Why and How Investors Use ESG Information: Evidence from a Global Survey. *Financial Analysts Journal*. 2018;74(3):87-103. <https://doi.org/10.2469/faj.v74.n3.2>.
25. Sparkes R., Cowton C.J. The Maturing of Socially Responsible Investment: A Review of Developing Link with Corporate Social Responsibility. *Journal of Business Ethics*. 2004;52(1):45-57. <https://doi.org/10.1023/B:BUSI.0000033106.43260.99>.
26. Khlynovskii A.M., Korotkova T.Yu., Pelenko V.V., Verkholtantsev A.A. Development of an Autonomous Complex of Organic Waste Utilization. *Technologies and Technical Means of Mechanized Production of Crop and Livestock Production*. 2019;3(100):170-179. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2019-10200>. EDN: BLYQQX.
27. Stepanov A.V., Matveeva M.V., Peshkova E.S. Digitalization of the Construction Industry: Prospects and Challenges. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(2):356-366. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-2-356-366>. EDN: SJHHKT.
28. Yaskova N.Yu., Zaitseva L.I., Viktorov M.Yu. Problems of Implementation of Import Substitution Strategy in Construction. *Bulletin of Eurasian Science*. 2022;14(4):1-29. (In Russ.). EDN: HHCHOO.
29. Gladkii Yu.N., Sukhorukov V.D. Ecological Balance: Meanings and Regulating Factors. *Geography and Ecology in The School of The XXI Century*. 2020;10:3-8. (In Russ.). EDN: ILIBWU.
30. Zekenova A.Zh. Utilization of Food Waste. *Student Bulletin*. 2020;16-8(114):84-87. (In Russ.). EDN: TTGRGB.

Информация об авторах

Яськова Наталья Юрьевна,

д.э.н., профессор, заведующий кафедрой инвестиционно-строительного бизнеса и управления недвижимостью, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, 119571, г. Москва, пр-т Вернадского, 82, Россия, ✉e-mail: yaskova-ny@ranepa.ru <https://orcid.org/0000-0001-8962-3420>
Author ID: 490267

Самойлов Станислав Юрьевич,

соискатель кафедры инвестиционно-строительного бизнеса и управления недвижимостью, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, 119571, г. Москва, пр-т Вернадского, 82, Россия, e-mail: noc@email.su <https://orcid.org/0009-0006-1905-1547>

Information about the authors

Natalia Yu. Yaskova,

Dr. Sci. (Econ.), Professor, Head of the Department of Investment and Construction Business and Real Estate Management, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, 82 Vernadskogo Ave., Moscow 119571, Russia, ✉e-mail: yaskova-ny@ranepa.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8962-3420>
Author ID: 490267

Stanislav Yu. Samoilov,

Coresearcher of the Department of Investment and Construction Business and Real Estate Management, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, 82 Vernadskogo Ave., Moscow 119571, Russia, e-mail: noc@email.su <https://orcid.org/0009-0006-1905-1547>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Яськова Наталья Юрьевна является членом редакционной коллегии журнала «Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость» с 2011 года, но не имеет отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах авторы не заявляли.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 14.02.2025.
Одобрена после рецензирования 21.02.2025.
Принята к публикации 24.02.2025.

Conflict of interests

Natalia Yu. Yaskova has been a member of the "Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate" Editorial Board since 2011, but she was not in-volved in making decision about accepting the present article for publication. The article was subjected the Journal's review procedure. The authors did not report any other conflicts of interest.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Information about the article

The article was submitted 14.02.2025.
Approved after reviewing 21.02.2025.
Accepted for publication 24.02.2025.



Расчет напряженно-деформированного состояния и долговечности сварного соединения рамных узлов с учетом остаточных напряжений

А.К. Аль-Сабаеи^{1✉}, В.Э. Абсиметов²

^{1,2}Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия

Аннотация. Внутренние напряжения могут возникать при любом технологическом процессе изготовления конструкций. Наибольший интерес к ним возник в 30-е гг. в связи с применением сварки как одного из основных видов соединения. Исследование вопросов прочности сварных соединений потребовало изучения механизма возникновения и развития сварочных напряжений и деформаций. Эксплуатация промышленных зданий с усиленными металлоконструкциями показала, что при воздействии преимущественно статических нагрузок случаи разрушения узлов рамных элементов редки. При длительном воздействии динамических нагрузок чаще всего выходят из строя сварные соединения, фиксирующие элементы усиления. Остаточные напряжения, возникающие после различных воздействий на деформируемое тело, играют важную роль в определении долговечности и точности размеров изделий. В металле с остаточными напряжениями существуют зоны упругих деформаций противоположных знаков. При разрезании изделия или удалении поверхностного слоя происходит упругое снятие макронапряжений. Определение остаточных напряжений механическим методом основано на измерении вызванных этим деформаций, что позволяет вычислить их величину и знак. В рамках исследования было изучено влияние остаточных сварочных напряжений на срок службы усиленных рамных узлов при динамических нагрузках. Анализ проводился с использованием численного моделирования в программной среде Ansys.

Ключевые слова: металлические конструкции, рамные узлы, долговечность, динамическая нагрузка, остаточные напряжения, усиления

Для цитирования: Аль-Сабаеи А.К., Абсиметов В.Э. Расчет напряженно-деформированного состояния и долговечности сварного соединения рамных узлов с учетом остаточных напряжений // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 1. С. 31–43. <https://orcid.org/10.21285/2227-2917-2025-1-31-43>. EDN: BOHOQA.

Original article

Calculation of stress-strain state and durability of welded joints of frame assemblies with regard to residual stresses

Arafat Q. Al-Sabaei^{1✉}, Vladimir E. Absimetov²

^{1,2}Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

Abstract. Internal stresses may occur in any technological process of manufacturing structures. In the 1930s, when welding became the major type of jointing, interest in studying these stresses intensified. Research into the strength of welded joints required elucidation of the mechanism of occurrence and development of welding stresses and deformations. The operation of industrial buildings with reinforced steel structures has shown that static loads in isolation rarely cause destruction of frame element assemblies. However, in case of prolonged exposure to dynamic loads, it is the welded joints fixing reinforcement elements that break most frequently. Residual stresses arising after various impacts on the deformed body have a significant role in determining the durability and dimensional accuracy of products. Metal with residual stresses contains areas of elastic deformations of opposite signs. When the product

is cut or the surface layer is removed, macro stresses are elastically removed. The determination of residual stresses by a mechanical method is based on the measurement of the as-caused strains, which allows their magnitude and sign to be calculated. In this work, we investigate the effect of residual welding stresses on the service life of reinforced frame assemblies under dynamic loads. The analysis was carried out using numerical simulation in the Ansys software environment.

Keywords: metal structures, frame assemblies, durability, dynamic load, residual stresses, reinforcements

For citation: Al-Sabaei A.Q., Absimetov V.E. Calculation of stress-strain state and durability of welded joints of frame assemblies with regard to residual stresses. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(1):31-43. (In Russ.). <https://orcid.org/10.21285/2227-2917-2025-1-31-43>. EDN: BOHOQA.

ВВЕДЕНИЕ

Практическое применение усиленных металлических конструкций показало, что их разрушение часто связано с явлением усталости материала [1–4,11]. Одним из наиболее распространенных критериев оценки устойчивости к усталостным повреждениям является вибрационная прочность. Одним из факторов, влияющим на усталостную прочность материала, являются остаточные сварочные напряжения, возникающих при устройстве или усилении узлов сопряжения балок в рамных каркасах зданий.

В данном исследовании проводится анализ вибрационной прочности узлов рамных конструкций [5, 6, 14, 15]. Для оценки срока службы этих узлов использовался метод численного моделирования, основанный на разработке конечно-элементной модели с использованием программного обеспечения Ansys, что позволило выполнить точное моделирование и углубленный анализ [7,8].

МЕТОДЫ

Необходимо было выполнить расчеты с учетом остаточных напряжений в деталях со-

единения, обусловленных локальным нагревом при сварке. Сначала проводился тепловой анализ для определения распределения температуры в элементах конструкции после завершения сварки, при этом предполагается, что швы формируются мгновенно. Полученные температурные данные затем передаются в прочностной расчет. На первом этапе моделирования эти температуры используются в качестве нагрузок, что приводит к возникновению пластических деформаций в области сварных швов.

На следующем этапе температурная нагрузка убирается, и к конструкции прикладывается основная эксплуатационная нагрузка для оценки ее поведения [9, 10,12]. Для материала деталей был задан закон билинейного изотропного упрочнения. Начальная температура сварных швов принята равной температуре ликвидуса материала, для расчетов выбрано значение 1400 °С (рис. 1).

Для наружных поверхностей деталей соединения задавалось конвективное граничное условие с коэффициентом конвекции, который зависит от температуры (рис. 2).

Temperature: 1400, °C

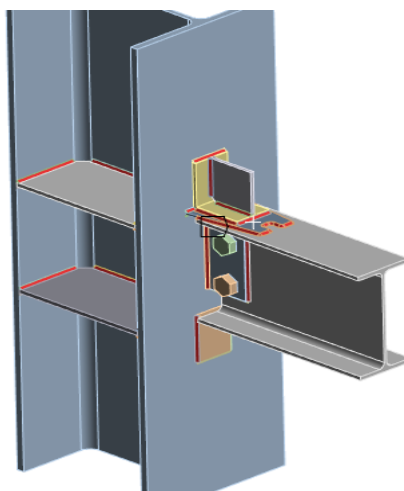


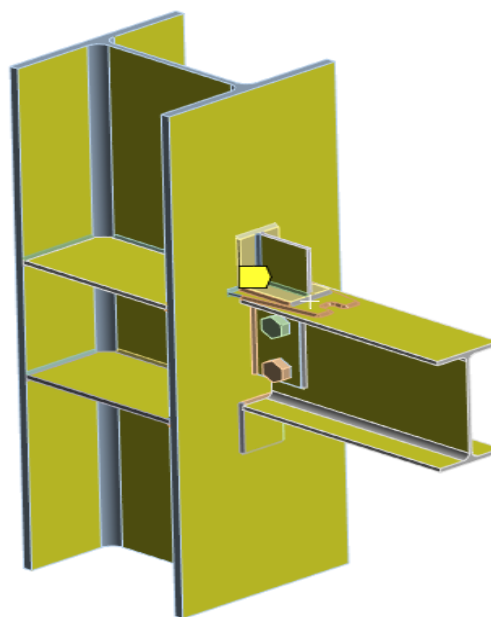
Рис. 1. Граничное условие – температура сварных швов
Fig. 1. Boundary condition – temperature of welds

B: Steady-State Thermal

Convection

Time: 1, s

Convection: 22, °C, 3,784e-006 W/mm²·°C



0,00

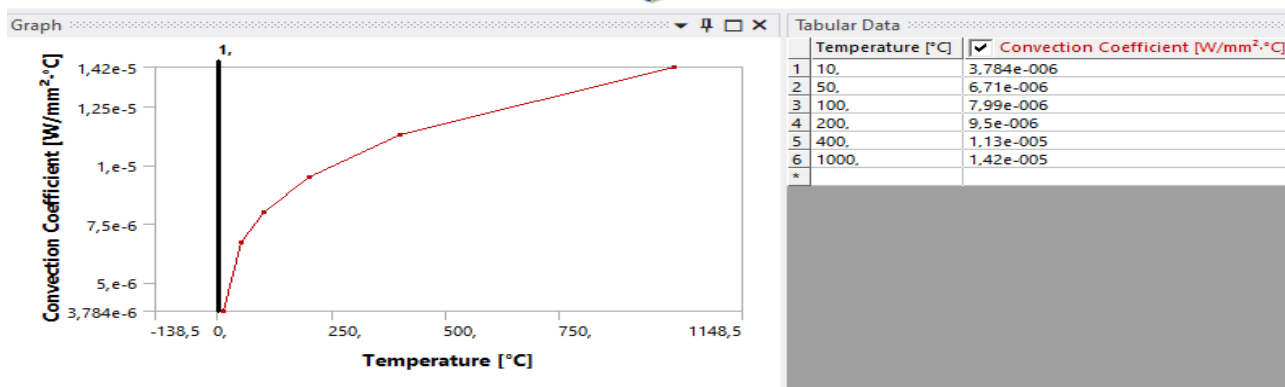


Рис. 2. Граничное условие – конвекция в неподвижный воздух
Fig. 2. Boundary condition – convection into still air

По данной схеме рассчитано сварное соединение для профиля 18×25 мм и сварных швов с катетами 6 и 8 мм.

В модели используется нелинейный материал, поэтому для ускорения расчетов было

уменьшено количество конечных элементов. Поле температуры взято через время 5 с. после укладки швов, уменьшение температуры самих швов было задано по экспоненциальному закону (рис. 3).

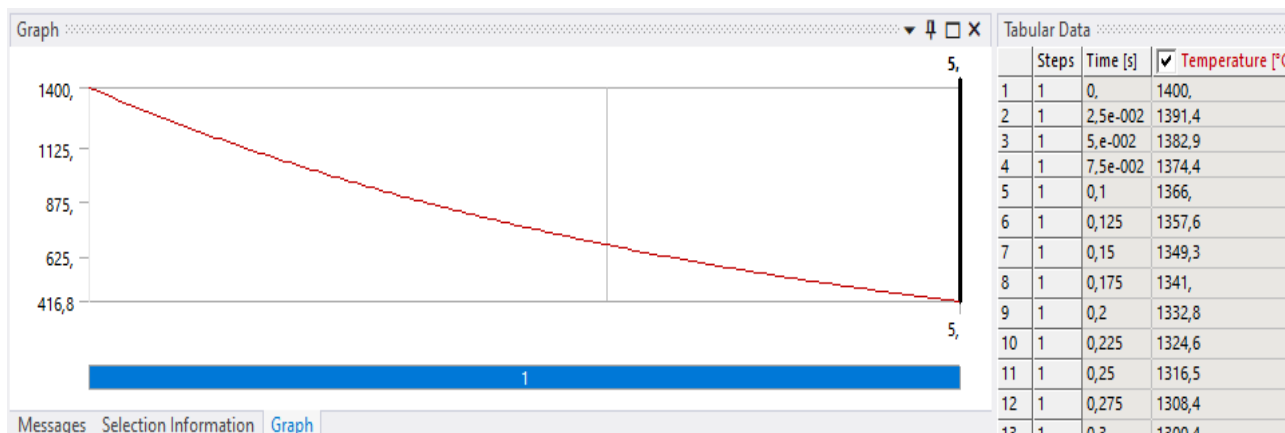


Рис. 3. График изменения температуры сварных швов
Fig. 3. Graph of temperature changes in welds

Моделирование образцов до усиления с катетами 6 мм

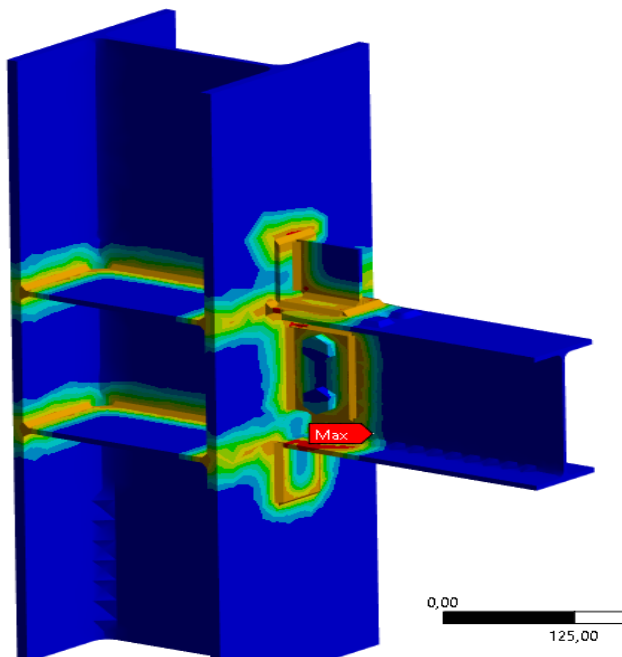
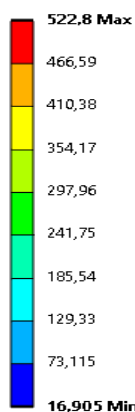
На рис. с 4 по 6 представлено моделирование образцов до усиления с катетами 6 мм. Тепловые деформации материала вблизи сварных швов превосходят деформации на пределе текучести (0,2 %) и составляют около от 0,4 до 0,5 % (деформации представлены в направлении одной оси).

Таким образом, в этих зонах возникают локальные пластические деформации, которые

обуславливают появление остаточных напряжений после полного остывания деталей.

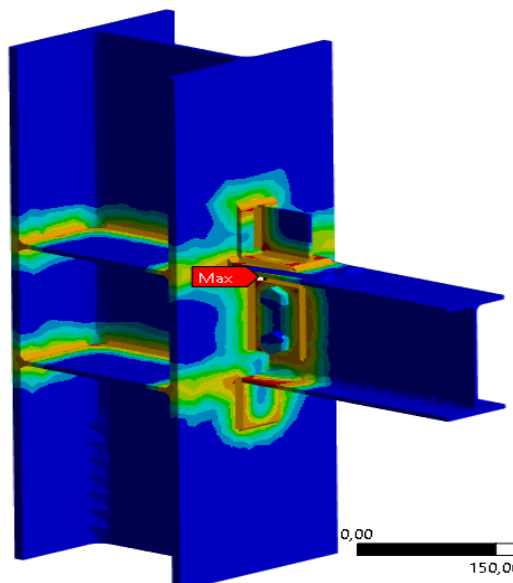
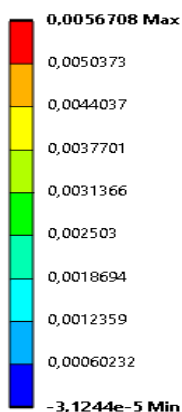
Результаты расчета долговечности в деталях усиления без учета остаточных напряжений после сварки (рис. 6b) показывают количество циклов до появления признаков усталостного разрушения почти в два раза больше, что подчеркивает важность учета тепловых деформаций материала в расчетах на прочность сварных соединений [7, 14, 15, 16, 17].

B: Transient Thermal
Temperature
Type: Temperature
Unit: °C
Time: 5 s



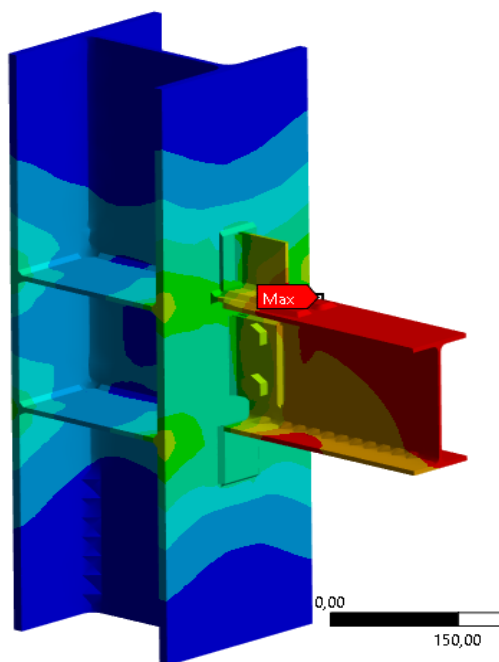
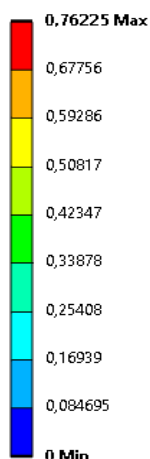
a

C: Static Structural
Thermal Strain
Type: Thermal Strain(X Axis)
Unit: mm/mm
Global Coordinate System
Time: 1 s



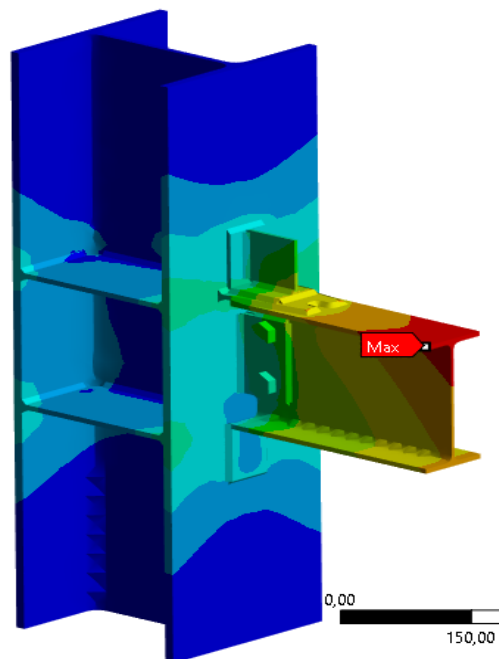
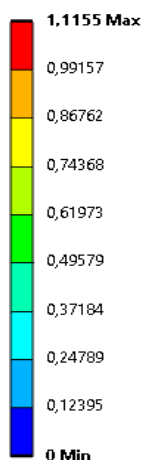
b

C: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s



c

C: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 2 s



d

Рис. 4. Результаты моделирования образцов сечением 18×25 после усиления (катет шва 6 мм): а – поле температур, b – тепловые деформации, с – перемещения в модели (после сварки), d – перемещения в модели (после приложения нагрузки)
Fig. 4. The results of modeling samples with a cross section of 18×25 (6 mm suture catheter): a – temperature field, b – thermal deformations (in the X-axis direction), c – movements in the model (after welding), d – movements in the model (after applying the load)

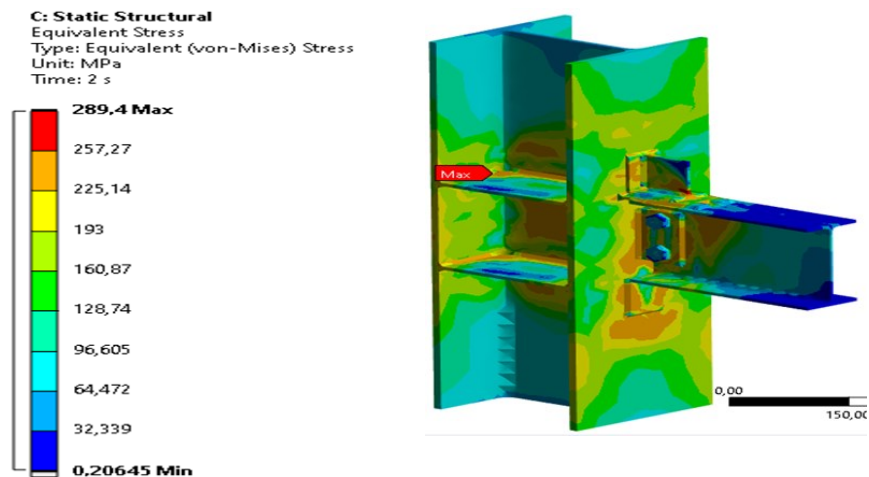


Рис. 5. Эквивалентные напряжения (после приложения нагрузки)
Fig. 5. Equivalent voltages (after application of load)

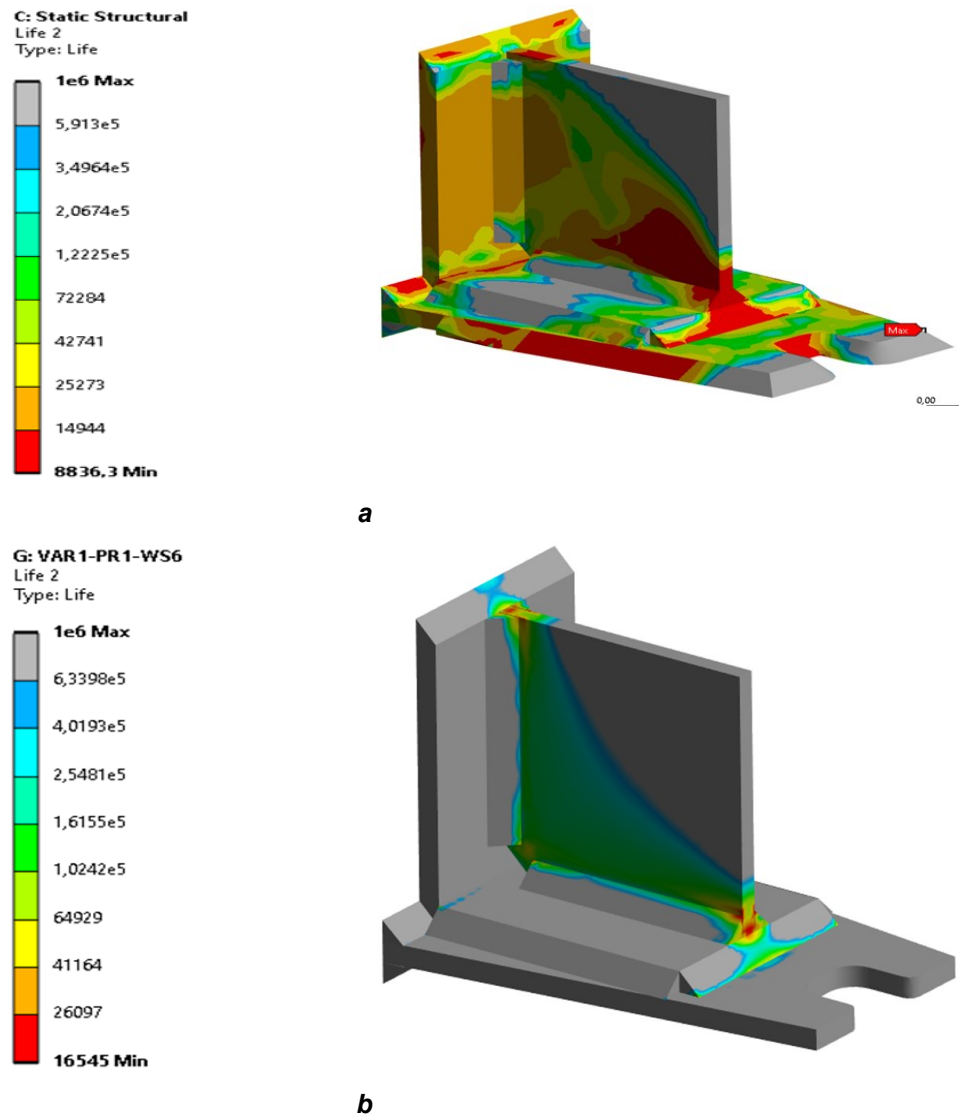


Рис. 6. Расчетная долговечность в сварных зонах деталей усиления:
а – с учетом остаточных напряжений, б – без учета остаточных напряжений
Fig. 6. Estimated durability in welded areas of reinforcement parts:
a – taking into account residual stresses, b – without taking into account residual stresses

Моделирование образцов после усиления с катетами 8 мм

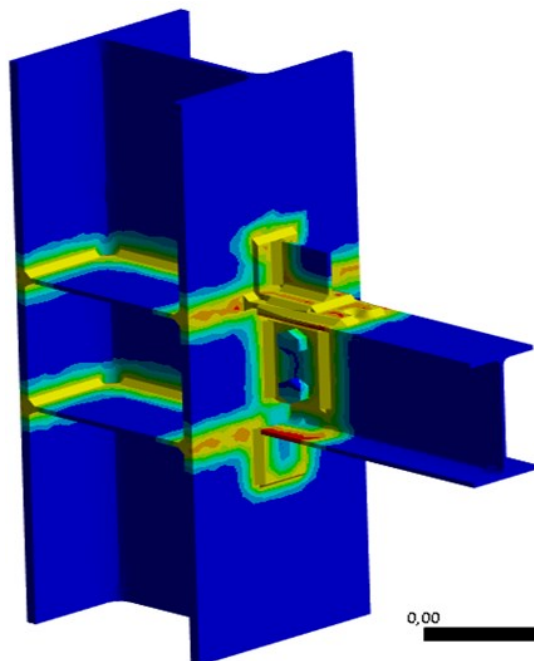
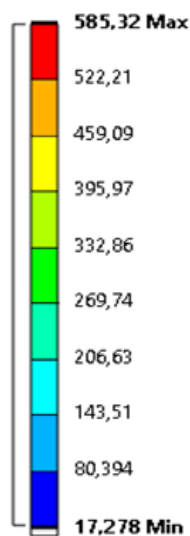
Размер профиля составляет 18×25 мм, катет сварного шва – 8 мм, усиление производится с применением накладок, уголков и ребер (рис. 7–9).

Тепловые деформации материала вблизи сварных швов превосходят деформации на

пределе текучести (0,2 %) и составляют около 0,4–0,5 % (деформации представлены в направлении одной оси).

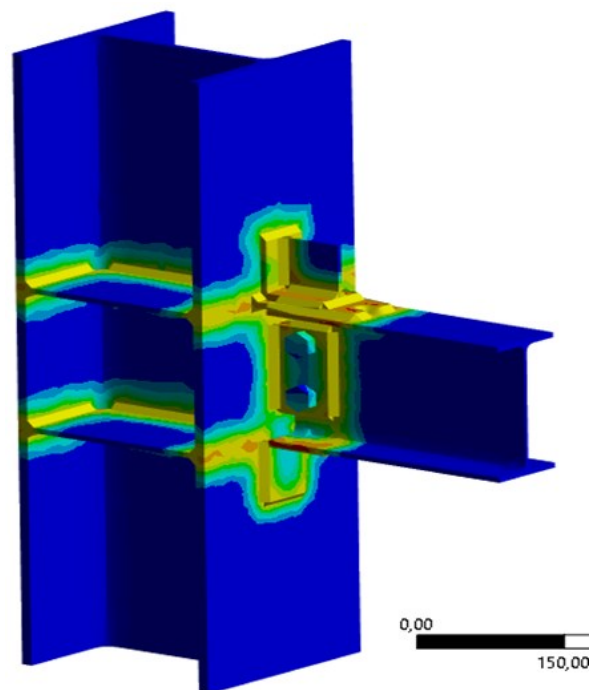
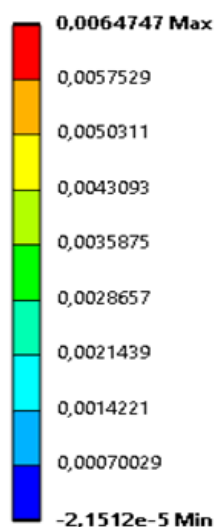
Таким образом, в этих зонах возникают локальные пластические деформации, которые обуславливают появление остаточных напряжений после полного остывания деталей [18,19].

E: Transient Thermal
Temperature
Type: Temperature
Unit: °C
Time: 5 s



a

F: Static Structural
Thermal Strain
Type: Thermal Strain(X Axis)
Unit: mm/mm
Global Coordinate System
Time: 1 s



b

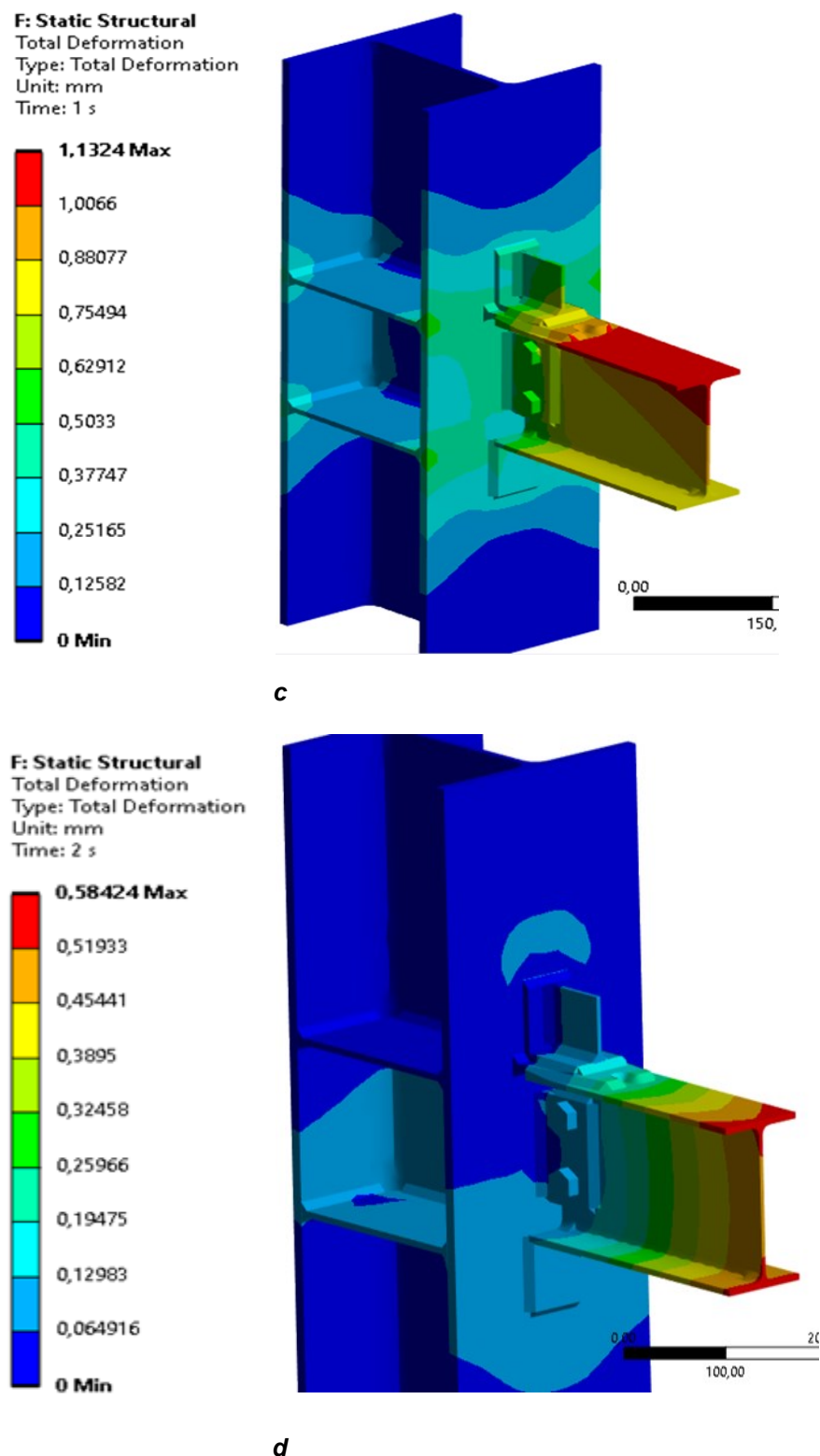


Рис. 7. Результаты моделирования образцов сечением 18×25 после усиления (катет шва 8 мм): а – поле температур, б – тепловые деформации, с – перемещения в модели (после сварки), d – перемещения в модели (после приложения нагрузки)
Fig. 7. The results of modeling samples with a cross section of 18×25 (8 mm suture catheter): a – temperature field, b – thermal deformations, c – movements in the model (after welding), d – movements in the model (after applying the load)

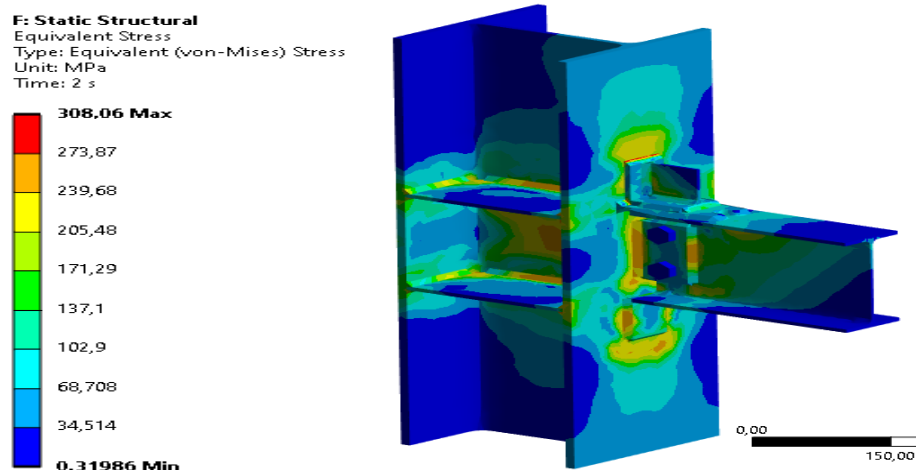
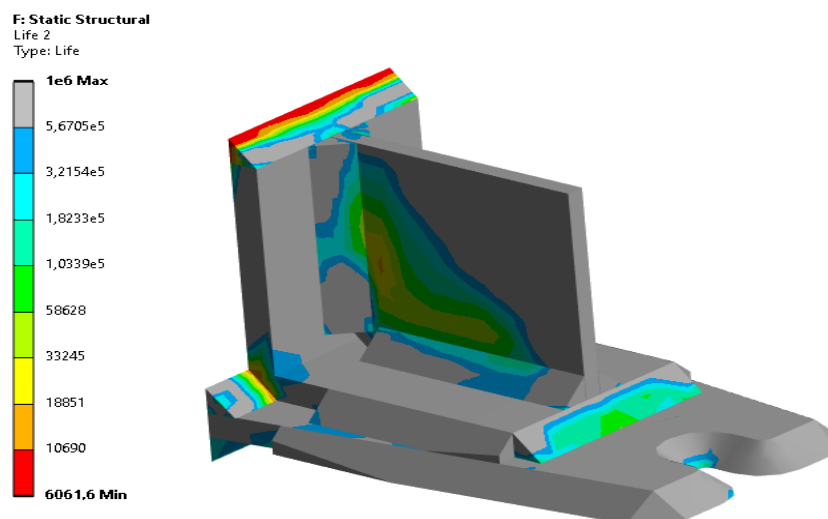
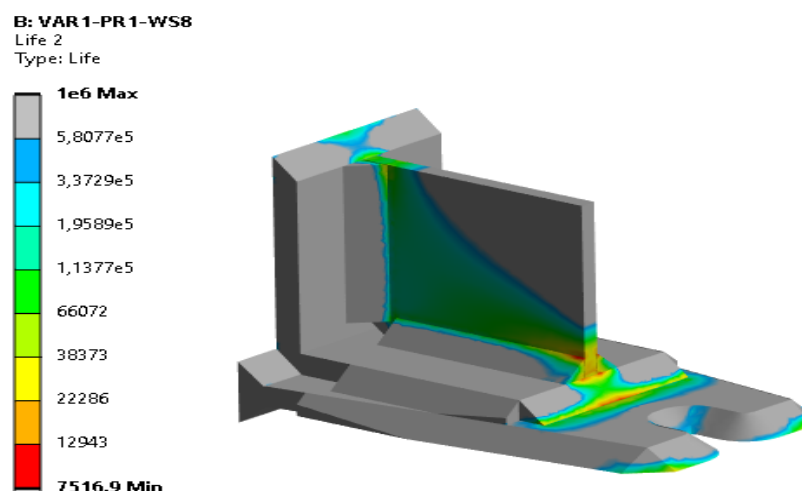


Рис. 8. Эквивалентные напряжения (после приложения нагрузки)
Fig. 8. Equivalent voltages (after application of load)



a



b

Рис. 9. Расчетный ресурс сварных соединений в усиливающих деталях:
a – с учетом остаточных напряжений, b – без учета остаточных напряжений
Fig. 9. Approximate longevity in welded regions of reinforcement components:
a – considering residual stresses, b – disregarding residual stresses

Результаты расчета долговечности в деталях усиления без учета остаточных напряжений после сварки показывают завышенное количество циклов до появления признаков уста-

лостного разрушения, что подчеркивает важность учета тепловых деформаций материала в расчетах на прочность сварных соединений (рис. 9b).

Общий анализ результатов моделирования после усиления General analysis of the simulation results after reinforcement

Сечения	Нагрузка, Н	Катет шва, мм	Количество циклов до разрушения (без учета остаточных напряжений)	Количество циклов до разрушения (с учетом остаточных напряжений)
Усиления с помощью накладок, уголков и ребер				
18Б1×25 К1	68646,55	6	16 545	8836
		8	7517	5062

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам расчетов можно сделать следующие выводы:

1. Анализ результатов расчетов показывает, что образцы с меньшими размерами катетов сварных швов обладают большей сопротивляемостью к разрушению и выдерживают больше циклов нагрузки [20–23].

2. Размер катетов и вызванные ими остаточные напряжения играют ключевую роль в обеспечении усталостной прочности усиленных элементов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базе подробного анализа итогов моделирования удалось определить, что усталостная прочность соединений обуславливается

высотой катета швов, что подтверждает влияние остаточных сварочных напряжений на прочность соединений при динамических нагрузках. Это также подтверждается числом циклов до разрушения. Стоит отметить, что при проектировании можно использовать размеры катетов сварных швов минимально допустимые по действующим нормам СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции», актуализированная редакция СНиП II-23-81. Кроме того, используя метод усиления металлоконструкции при помощи наращивания сечений, рекомендуется использовать сварные швы малых катетов, а при недостаточной площади сварного соединения при уменьшении катетов увеличивать длину сварных швов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Серенко А.Н. Оценка степени влияния остаточных напряжений на выносливость сварных конструкций. Часть 1. // Вестник Приазовского государственного технического университета. 2005. № 15. С. 134–138.
2. Винокуров В.А. Сварочные деформации и напряжения. М.: Машиностроение, 1968. 236 с.
3. Абсиметов В.Э. Дефекты монтажа, методы устранения надежности и долговечность строительных конструкций: монография. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. 222 с.
4. Пичугин С.Ф. Надежность стальных конструкций производственных зданий. М.: Ассоциация строительных вузов, 2011. 455 с.
5. Аль-Сабаеи А.К., Абсиметов В.Э. Проблемы оценки надежности металлических конструкций // Наука и инновации в строительстве. Сб. докладов VI Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 50-летию кафедры строительства и городского хозяйства (г. Белгород, 14 апреля – 14 февраля 2022 г.). Белгород, 2022. С. 9–14. EDN: JAMVYL.
6. Аль-Сабаеи А.К. Усиление узлов опирания и сопряжения строительных металлоконструкции // V Междунар. студенческий строительный форум-2020. Сб. докладов (г. Белгород, 26 ноября 2020 г.). Белгород, 2020. С. 23–30. EDN: BIGXLH.
7. Huei-Huang Lee Finite Element Simulations with ANSYS Workbench. Theory, Applications, Case Studies. Browse Books: SDC Publications, 2023. 600 p.
8. Belen'kii D.M., Vernezi N.L., Cherpakov A.V. Changes in The Mechanical Properties of Butt Welded Joints in Elastoplastic Deformation // Welding International. 2004. Vol. 18. Iss. 3. P. 213–215. <https://doi.org/10.1533/wint.2004.3268>.

9. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. М.: Стройиздат, 1978. 239 с.
10. Шпете Г. Надежность несущих строительных конструкций / пер. с нем. О.О. Андреев. М.: Стройиздат, 1994. 288 с.
11. Абсиметов В.Э. Проектирование стальных конструкций с применением Еврокодов [EN 1993] примеры расчета: монография. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. 142 с. EDN: LXWUEK.
12. Абакумов Р.Г., Аль-Сабаеи А.К. Оценка уровня надежности вариантов усиления строительных металлоконструкций с использованием математической модели вероятности их безотказной работы // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2021. № 7. С. 44–50. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2021-6-7-44-50>. EDN: ONUORF.
13. Солодов Н.В., Водяхин Н.В., Кочерженко В.В. Напряженно-деформированное состояние при реализации смятия и сдвига в болтосварном соединении // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2022. № 12. С. 18–27. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2022-7-12-18-27>. EDN: FDIPMX.
14. Аль-Сабаеи А.К. Обоснование методов усиления строительных металлоконструкций при повторно-статических нагрузках // Проектирование и строительство. Сб. науч. трудов 5-й Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров (г. Курск, 12 марта 2021 г.). Курск, 2021. С. 16–21. EDN: OUOMLH.
15. Аль-Сабаеи А.К., Абсиметов В.Э. Расчет НДС рамным узлам строительных металлоконструкций при их усилении // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2024. № 4. С. 26–35. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2024-9-4-26-35>. EDN: IKFGMA.
16. Sadat A.B., Bailey J.A. Residual Stresses in Turned AISI 4340 Steel // *Experimental Mechanics*. 1987. Vol. 27. P. 80–85. <https://doi.org/10.1007/BF02318868>.
17. Liu C.R., Barash M.M. Variables Governing Patterns of Mechanical Residual Stress in a Machined Surface // *Journal of Engineering for Industry*. 1982. Vol. 104. Iss. 3. P. 257–264. <https://doi.org/10.1115/1.3185828>.
18. Сидоров М.М., Голиков Н.И. Остаточные сварочные напряжения монтажных соединений трубопроводов из низколегированных сталей, эксплуатирующихся в северных регионах // Сварка и диагностика. 2022. № 5. С. 49–52. https://doi.org/10.52177/2071-5234_2022_05_49. EDN: CYAWAH.
19. Jiang Guo, Haiyang Fu, Bo Pan, Renke Kang Recent Progress of Residual Stress Measurement Methods: A Review // *Chinese Journal of Aeronautics*. 2021. Vol. 34. Iss. 2. P. 54–78. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2019.10.010>.
20. Мазеин П.Г., Прусаков Д.В., Цунин А.В. Моделирование остаточных напряжений и деформаций, возникающих при дорновании // Известия Челябинского научного центра УРО РАН. 2001. № 1. С. 101–110. EDN: BJIPX.
21. Красильников Л.А. Остаточные напряжения и циклическая прочность холоднотянутой и отпущенной стальной проволоки // *Сталь*. 1956. № 6. С. 562–565.
22. Спицин В.И., Троицкий О.А. Электропластическая деформация металлов. М.: Наука, 1985. 160 с.
23. Биргер И.А. Остаточные напряжения. М.: Машгиз, 1963. 232 с.

REFERENCES

1. Serenko A.N. Evaluation of The Influence of Residual Stresses On the Fatigue Life of Welded Structures. Part 1. *Vestnik Priazovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2005;15:134-138. (In Russ.).
2. Vinokurov V.A. *Welding Deformations and Stresses*. Moscow: Mechanical Engineering, 1968. 236 p. (In Russ.).
3. Absimetov V.E. *Installation Defects, Methods of Elimination, Reliability and Durability of Building Structures: Monograph*. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2021. 222 p. (In Russ.).
4. Pichugin S.F. *Reliability of Industrial Building Steel Structures*. Moscow: Association of Construction Universities, 2011. 455 p. (In Russ.).
5. Al-Sabaei A.K., Absimetov V.E. Problems of Assessing the Reliability of Metal Structures. In: *Nauka i innovatsii v stroitel'stve. Sbornik dokladov VI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 50-letiyu kafedry stroitel'stva i gorodskogo khozyaistva = Science and Innovation in Construction. Collection of Reports of The VI International Scientific and Practical Conference Dedicated to The 50th Anniversary of The Department of Construction and Urban Economy*. 14 April – 14 February 2022, Belgorod. Belgorod; 2022. p. 9–14. (In Russ.). EDN: JAMVYL.

6. Al-Sabaei A.K. Strengthening of Support and Connection Nodes of Building Metal Structures. In: *V Mezhdunarodnyi studencheskii stroitel'nyi forum-2020. Sbornik dokladov = V International Student Construction Forum-2020. Collection of Reports*. 26 November 2020, Belgorod. Belgorod; 2020. p. 23–30. (In Russ.). EDN: BIGXLH.
7. Huei-Huang Lee *Finite Element Simulations with ANSYS Workbench. Theory, Applications, Case Studies*. Browse Books: SDC Publications, 2023. 600 p.
8. Belen'kii D.M., Vernezi N.L., Cherpakov A.V. Changes in The Mechanical Properties of Butt Welded Joints in Elastoplastic Deformation. *Welding International*. 2004;18(3):213-215. <https://doi.org/10.1533/wint.2004.3268>.
9. Rzhantsyn A.R. *Theory of Calculation of Building Structures for Reliability*. Moscow: Stroyizdat, 1978. 239 p. (In Russ.).
10. Shpete G. Reliability of Load-Bearing Building Structures, 1994. 288 p. (Russ. ed.: *Nadezhnost' nesushchikh stroitel'nykh konstruktov*. Moscow: Stroyizdat, 1994. 288 p.).
11. Absimetov V.E. *Design of Steel Structures Using Eurocodes [EN 1993] Calculation Examples: Monograph*. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2023. 142 p. (In Russ.). EDN: LXWUEK.
12. Abakumov R.G., Al-Sabaei A.K. Assessment of The Reliability Level of Strengthening Options for Building Steel Structures Using the Mathematical Model of Their Uninterrupted Operation. *Bulletin of Belgorod State Technological University Named After V.G. Shukhov*. 2021;7:44-50. (In Russ.). <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2021-6-7-44-50>. EDN: OHUORF.
13. Solodov N.V., Vodyahin N.V., Kocherzhenko V.V. Stress-Strain State as The Implementation of Collapse and Shear in A Bolted-Welded Joint. *Bulletin of Belgorod State Technological University Named After V.G. Shukhov*. 2022;12:18-27. (In Russ.). <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2022-7-12-18-27>. EDN: FDIPMX.
14. Al-Sabaei A.K. Justification of Methods for Strengthening Building Metal Structures Under Repeated Static Loading. In: *Proektirovanie i stroitel'stvo. Sbornik nauchnykh trudov 5-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov, magistriv i bakalavrov = Design and Construction. Collection of Scientific Papers of The 5th International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Postgraduates, Masters and Bachelors*. 12 March 2021, Kursk. Kursk; 2021. p. 16–21. (In Russ.). EDN: OUOMLH.
15. Al-Sabaei A.K., Absimetov V.E. Calculation of Stress-Strain State (SSS) For Frame Assemblies of Building Metal Structures When They Are Reinforced. *Bulletin of Belgorod State Technological University Named After V.G. Shukhov*. 2024;4:26-35. (In Russ.). <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2024-9-4-26-35>. EDN: IKFGMA.
16. Sadat A.B., Bailey J.A. Residual Stresses in Turned AISI 4340 Steel. *Experimental Mechanics*. 1987;27:80-85. <https://doi.org/10.1007/BF02318868>.
17. Liu C.R., Barash M.M. Variables Governing Patterns of Mechanical Residual Stress in a Machined Surface. *Journal of Engineering for Industry*. 1982;104(3):257-264. <https://doi.org/10.1115/1.3185828>.
18. Sidorov M.M., Golikov N.I. Residual Welding Stresses of Mounting Joints of Low-Alloy Steel Pipelines Operated in The Northern Regions. *Svarka i diagnostika*. 2022;5:49-52. (In Russ.). https://doi.org/10.52177/2071-5234_2022_05_49. EDN: CYAWAH.
19. Jiang Guo, Haiyang Fu, Bo Pan, Renke Kang Recent Progress of Residual Stress Measurement Methods: A Review. *Chinese Journal of Aeronautics*. 2021;34(2):54-78. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2019.10.010>.
20. Mazein P.G., Prusakov D.V., Tsunin A.V. Modeling of Residual Stresses and Deformations Arising During Mandrel Boring. *Izvestiya Chelyabinskogo nauchnogo tsentra URO RAN*. 2001;1:101-110. (In Russ.). EDN: BJIPX.
21. Krasilnikov L.A. Residual Stresses and Cyclic Strength of Cold Drawn and Tempered Steel Wire. *Stal*. 1956;6:562-565. (In Russ.).
22. Spitsin V.I., Troitskii O.A. *Electroplastic Deformation of Metals*. Moscow: Nauka, 1985. 160 p. (In Russ.).
23. Birger I.A. *Residual Stresses*. Moscow: Mashgiz, 1963. 232 p. (In Russ.).

Информация об авторах

Аль-Сабаети Арафат Касем,
ассистент кафедры
строительства и городского хозяйства,
Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова,
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, Россия,
✉e-mail: kacem90@bk.ru
<https://orcid.org/0009-0001-4474-1893>

Information about the authors

Arafat Q. Al-Sabaei,
Assistant. of the Department Urban
Construction and Economy,
Belgorod State Technological University
named after V.G. Shukhov,
46 Kostyukova St., Belgorod 308012, Russia,
✉e-mail: kacem90@bk.ru
<https://orcid.org/0009-0001-4474-1893>

Абсиметов Владимир Эскендерович,
д.т.н., профессор кафедры
строительства и городского хозяйства,
Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова,
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, Россия,
e-mail: absimetov57@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-4474-1893>

Vladimir E. Absimetov,
Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department Urban
Construction and Economy,
Belgorod State Technological University
named after V.G. Shukhov,
46 Kostyukova St., Belgorod 308012, Russia,
e-mail: absimetov57@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-4474-1893>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

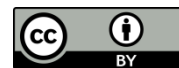
The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 21.11.2024.
Одобрена после рецензирования 02.12.2024.
Принята к публикации 04.12.2024.

Information about the article

The article was submitted 21.11.2024.
Approved after reviewing 02.12.2024.
Accepted for publication 04.12.2024.



Влияние золошлаковых отходов на технические показатели керамического кирпича на основе отхода цветной металлургии без применения природного традиционного сырья

А.В. Балановская¹, Е.С. Абдрахимова²✉

¹Самарский государственный экономический университет, Самара, Россия

²Самарский университет (Национальный исследовательский университет им. акад. С.П. Королёва), Самара, Россия

Аннотация. В статье представлен рециклинг глинистой части «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд, являющейся техногенным сырьем цветной металлургии, и использование ее в качестве глинистой связующей. Также в статье рассматриваются золошлаковые отходы в роли отощителя и выгорающей добавки для получения керамического кирпича без применения традиционных естественных материалов. Для анализа поэлементного химического состава и микроструктуры сырьевых компонентов использовался растровый электронный микроскоп JSM 6390A фирмы Jeol. Петрографические исследования сырьевых компонентов анализировались с использованием иммерсионных жидкостей, прозрачных шлифов и аншлифов под микроскопом МИН-8 и МИН-7. В роли связующей, для процесса производства керамического кирпича, использовалась глинистая часть «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд, которая является техногенным сырьем цветной металлургии, а в качестве отощителя и выгорающей добавки золошлаковые отходы. В статье также представлена классическая технология производства кирпича: измельчение, перемешивание, пластическое формование, сушка и обжиг кирпича. Выявлено, что возрастание важнейших показателей керамического кирпича происходит при внедрении в составы керамических масс до 20 % золошлаковых отходов. Установлено, что увеличение содержания золошлаковых отходов с 10 до 30 % снижает пластичность шихты с 22 до 9. Оно способствует образованию трещин на поверхности кирпича при его формовании, поэтому оптимальным составом для получения кирпича марки М125 является состав, содержащий 20 % золошлаковых отходов.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, глинистая часть «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд, керамический кирпич, технические показатели

Для цитирования: Балановская А.В., Абдрахимова Е.С. Влияние золошлаковых отходов на технические показатели керамического кирпича на основе отхода цветной металлургии без применения природного традиционного сырья // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 1. С. 44–53. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-44-53>. EDN: AKHVHQ.

Original article

Influence of ash and slag waste on the technical properties of ceramic bricks made from non-ferrous metallurgical waste without the use of conventional natural raw materials

Anna V. Balanovskaya¹, Elena S. Abdrakhimova²✉

¹Samara State University of Economics, Samara, Russia

²Samara University (National Research University named after Academician S.P. Korolev), Samara, Russia

Abstract. This paper examines the recycling of the clay part of the gravity tailings of zircon-ilmenite ores, which is a man-made raw material for non-ferrous metallurgy, as well as its use as a clay binder. Additionally, ash and slag waste as a leaner and burnout additive for obtaining ceramic bricks without the use

© Балановская А.В., Абдрахимова Е.С., 2025

of traditional natural materials are studied. A Jeol JSM 6390A scanning electron microscope was used to analyze the elemental chemical composition and microstructure of the raw materials. Petrographic studies of the raw materials were analyzed using immersion liquids, transparent sections, and polished sections under a MIN-8 and MIN-7 microscope. The clay part of the tailings of zircon-ilmenite ores was used as a binder for the ceramic brick production process, and ash and slag waste were used as a leaner and burnout additive. The classic technology of brick production is considered including crushing, mixing, plastic molding, drying, and firing of bricks. A growth of the most important indicators of ceramic bricks was found when introducing up to 20% of ash and slag waste into the compositions of ceramic masses. Moreover, the plasticity of the batch reduces from 22 to 9 with an increase in the content of ash and slag waste from 10% to 30%. As it contributes to the formation of cracks on the surface of the brick during its molding, 20% of ash and slag waste is concluded to be the optimal composition for M125 bricks.

Keywords: ash and slag waste, clay part of the gravity "tails" of zircon-ilmenite ores, ceramic bricks, technical indicators

For citation: Balanovskaya A.V., Abdrakhimova E.S. Influence of ash and slag waste on the technical properties of ceramic bricks made from non-ferrous metallurgical waste without the use of conventional natural raw materials. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(1): 44-53. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-44-53>. EDN: AKHVHQ.

ВВЕДЕНИЕ

Уголь оценивается как максимально используемый и широкодоступный вид топлива, а его резервов, усредненных в мировом масштабе, хватит более чем на 100 лет. Россия находится на втором месте по установленным резервам угля, причем данное топливо может использоваться еще 400 лет [1].

За счет экспоненциального приращения потребления электроэнергии и тепла, по анализу и мониторингу Международного экономического агентства, до 2035 г. процент потребления угля только возрастет, т. к. в генерации электроэнергии он удерживает доминирование, в результате чего образуются в больших количествах золошлаковые отходы (ЗШО).

Необходимо установить разницу между твердыми коммунальными отходами (утвержденный термин мусора от жителей) и отходами производства – техногенным сырьем [2]. ЗШО является конгломератом золы и шлака – это минеральная часть несгоревшего угля, т. е. его остаток в виде камней.

При длительном содержании ЗШО в золоотвалах естественные источники, такие как дождевые и талые течения (потоки), ветровые порывы, бури, ураганы, бураны, вихри и т. д. провоцируют выдувание и размывание (распространение) техногенного сырья.

По этой причине не только атмосфера, почва и водоемы, но и подземные воды загрязняются элементами токсичного происхождения, пылью, мельчайшими частицами, тяжелыми вредными металлами и хлористыми соединениями.

Вопросам рециклинга ЗШО ведущие государства уделяют не только больше внимания,

но и денежных средств, по сравнению с Россией. Рециклинг или утилизация ЗШО в России составляет 12 %, в Германии и Франции оценивается в 70 %, а в Финляндии – 90 %, что допускает исключение золоотвалов [3].

Рекордный сегмент, формируемый и утилизируемый ЗШО, находится в Китае, причем заметные скорости увеличения ЗШО не оказали влияния на процент утилизации, который находится в пределах 70 %. По образованию ЗШО второе место занимает Индия. В Индии утилизируется ЗШО в интервале 65–70 % [4–6]. Анализ и мониторинг по выигрышной деятельности рециклинга ЗШО отмечены в Китае, Австралии, США, Индии и Японии [4, 7]. Максимальное количество перерабатываемых ЗШО в Китае отмечается в строительной отрасли – 89–91 %. Под воздействием металлургических производств масштабные площади становятся промзонами, которые охватывают районы не только с повышенным количеством населения, но и сельскохозяйственные угодья, зоны с водными бассейнами, территории, рассчитанные для строительства зданий для жилья и сооружений для различных производств [8–11]. Следовательно, обостряется экологическая ситуация для промышленно-урбанизированных территорий. Специфичность металлургических производств способствует негативным контактам отходов производств не только с окружающей средой, но и еще с состоянием здоровья населения, присутствующего на данной территории. Масштабное содержание крупнотоннажных отходов производств металлургии способствует загрязнению почвы, близлежащих водоемов и отравлению экологических систем [12, 13]. По уровню

загрязнения окружающей среды металлургические предприятия следуют сразу за топливно-энергетическим комплексом. Стоит отметить, что в металлургической промышленности первенство захватила цветная металлургия [13–14].

По данным некоторых экологов и исследователей, зародившаяся экологическая опасность классифицируется как дефицит редуцентов, которые относятся к группе «мусорщиков». Эти «мусорщики», из-за радикального увеличения объема техногенного сырья, уже не в состоянии ликвидировать (или разложить) такой контингент отходов на микросоставляющие [13]. Образовавшиеся отходы производств не имеют полного сходства по химическому составу с природными естественными материалами, поэтому ощущается нехватка бактерий (микроорганизмов), редуцентов, для разложения отходов [14–16]. Комплексное материаловедение предусматривает формирование безотходных технологий, регламентирующих повторное использование отходов производств по изготовлению для населения необходимой продукции. Рециклинг отходов производств в производство различных товаров сэкономит субсидирование на геологоразведочные работы и функционирование карьера. В итоге предложенного рециклинга освобождаются пространства от негативного влияния антропогенных мутантов. Истощение доминирующих для производства керамического кирпича сырьевых компонентов показало, что необходима ротация естественного природного сырья на техногенное сырье. Она позволит не только производить различную продукцию, но и будет способствовать охране экологических систем. Следовательно, цель работы заключается в рециклинге глинистой части «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд (ГЦИ), являющейся техногенным сырьем цветной металлургии, и ее использование в качестве глинистой связующей, и ЗШО – в роли отошителя и выгорающей добавки для получения керамического кирпича без применения традиционных естественных материалов.

МЕТОДЫ

В настоящей работе для анализа поэлементного химического состава и микроструктуры сырьевых компонентов был использован один из современных растровых электронных микроскопов JSM 6390A фирмы Jeol (Япония). Петрографические исследования сырьевых компонентов анализировались с использованием иммерсионных жидкостей, прозрачных шлифов и аншлифов под микроскопом МИН-8 и МИН-7.

На микроскопе МИН-8М, при увеличении в 200 раз размера частиц ГЦИ и ЗШО, был проведен анализ с помощью металлографического метода.

Частицы, после растворения в спирте, наносились на стекло и фотографировались. Для того, чтобы определить более точно размеры частиц, было заснято несколько участков объекта.

Используя шкалу объекта микрометра (1 дел. = 0,001 мм), можно определить средний размер частиц отходов.

Базовые химико-физические показатели и технологические свойства ГЦИ и ЗШО, такие как фракционный состав, пластичность, усадка, водопоглощение, прочность и т. д., определялись и анализировались по лабораторным практикумам и другим работам [17, 18].

Технические показатели керамического кирпича определялись по ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камни керамические. Общие технические условия».

В роли связующей, для процесса производство керамического кирпича, использовалась ГЦИ, которая является техногенным сырьем цветной металлургии, а в качестве отошителя и выгорающей добавки – ЗШО.

Химические составы, оксидный и поэлементный, используемых техногенных сырьевых материалов, представлены в табл. 1 и 2, фракционный в табл. 3.

Технологические свойства рассмотрены в табл. 4. На рис. 1. представлено электронное фото, минералогический состав на рис. 2, а металлографический на рис. 3.

Таблица 1. Усредненный оксидный химический состав техногенного сырья

Table 1. Average oxide chemical composition of technogenic raw materials

Компонент	Содержание оксидов, мас. %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	ППП
ГЦИ	59,59	22,43	6,74	1,28	1,54	1,58	7,04
ЗШО	46,04	16,18	9,12	4,68	1,23	3,54	19,21

Примечание: ППП – потери при прокаливании; R₂O=Na₂O+K₂O

Таблица 2. Поэлементный химический состав техногенного сырья

Table 2. Element-by-element chemical composition of man-made raw materials

Компонент	Содержание элементов, мас. %								
	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
ГЦИ	2,18	51,26	0,26	0,54	15,45	24,8	0,32	0,2	4,87
ЗШО	7,80	50,21	1,05	0,91	12,3	18,2	0,92	3,05	6,12

Таблица 3. Фракционный состав техногенного сырья

Table 3. Fractional composition of technogenic raw materials

Компонент	Содержание фракций в %, размер частиц в мм				
	>0,063	0,063-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001
ГЦИ	0,8	8,1	12,1	21,0	58
ЗШО	15,2	34,1	34,7	11,48	4,51

Таблица 4. Технологические показатели техногенного сырья

Table 4. Technological indicators of technogenic raw materials

Техногенное сырье	Теплотворная способность, ккал/кг	Огнеупорность, °C		
		начало деформации	размягчение	жидкоплавкое состояние
ГЦИ	450	1490	1520	1580
ЗШО	1600	1270	1300	1390

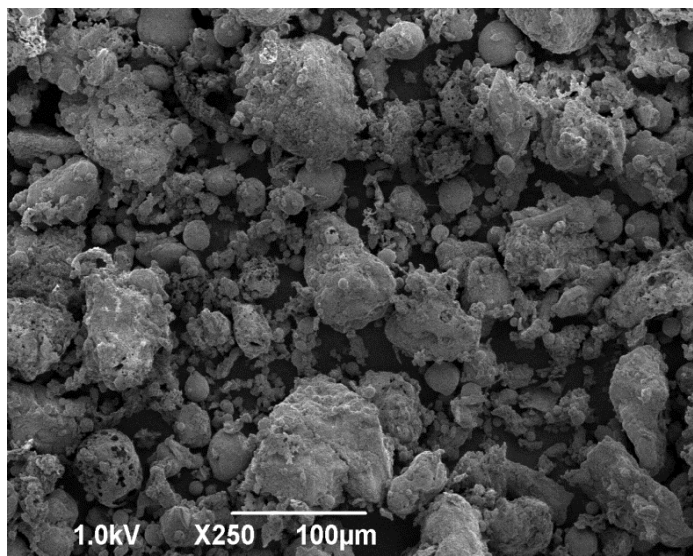
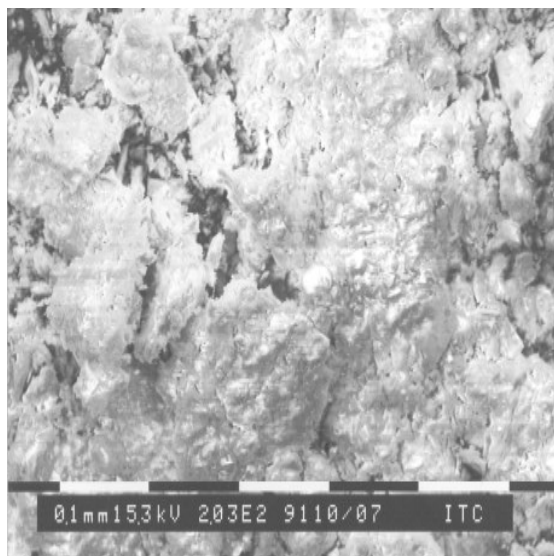


Рис. 1. Микроструктура сырьевых материалов: а – ГЦИ; б – ЗШО.

Увеличение: а – $\times 1000$; б – $\times 250$

Fig. 1. Microstructure of raw materials: а – GCI; б – ZCO.

Magnification: а – $\times 1000$; б – $\times 250$

Глинистая часть «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд (ГЦИ) представляет собой тугоплавкую глину, которая имеет сложный минеральный состав, включающий, в отличие от традиционных тугоплавких глин, до десяти минералов, и имеет повышенное содержание оксида железа (Fe_2O_3 более 5 %). Караоткельское месторождение циркон-ильменитовых руд находится в Восточном Казахстане в 250

км от г. Усть-Каменогорска. По оценке геологов, запасы ГЦИ составляют 230–240 млн. т, что значительно превышает запасы используемых в настоящее время Веселовского, Артемовского, Нижне-Увельского (Россия) и Целиноградского (Казахстан) месторождений. ГЦИ получается после дезинтеграции и грохочения руды в виде суспензии влажностью 37–45 % [19–22].

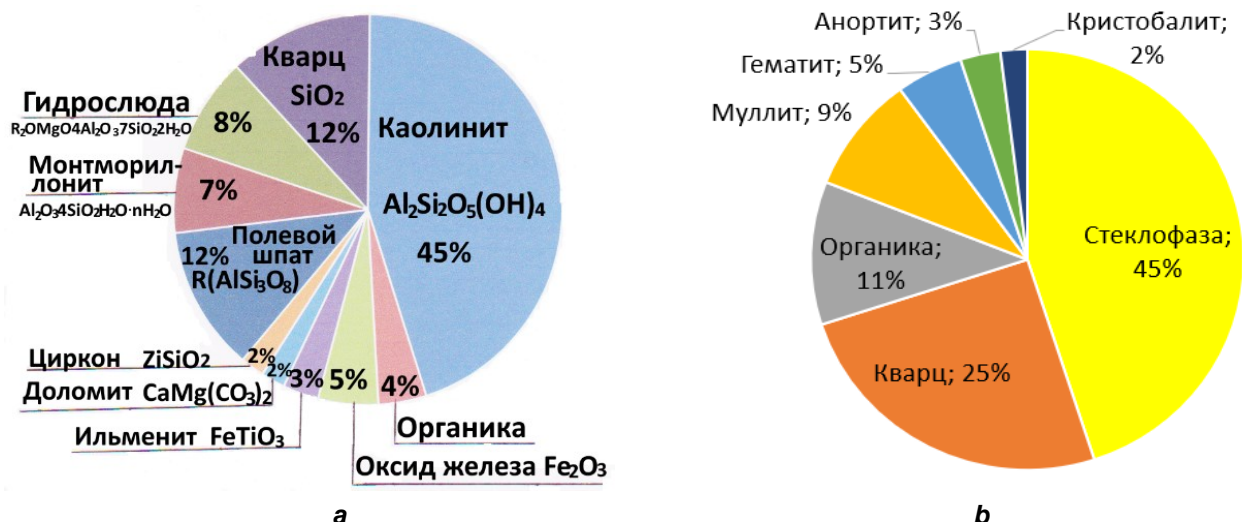
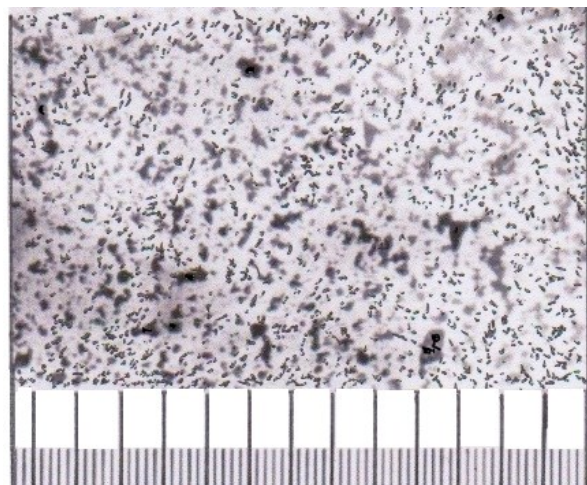


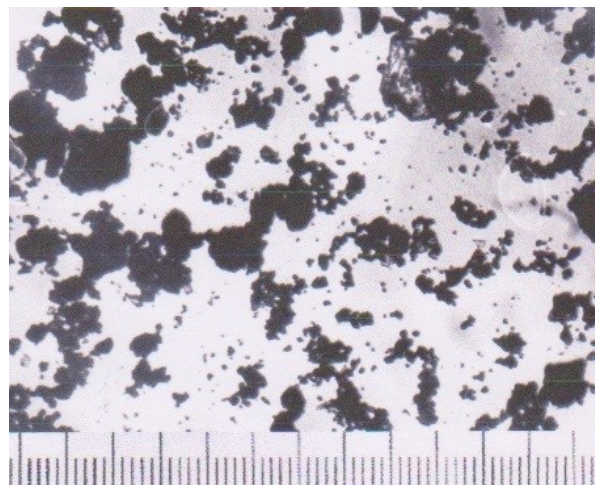
Рис. 2. Минералогический состав сырьевых материалов: а – ГЦИ; б – ЗШО
Fig. 2. Mineralogical composition of raw materials: a – GCI; b – ZCO

ГЦИ зарождается в виде гомогенной суспензии микрогравитационным способом с влажностью 37–45 %, плотность 2,36–2,42 г/см³ после грохочения и дезинтеграции добываемой руды, данное техногенное сырье достаточно хорошо проанализировано в работах [19–22]. Исследуемый глинистый компонент – полукислосое глинистое сырье (по содержанию Al_2O_3) с повышенным содержанием красящих оксидов (Fe_2O_3 более 3 %).

ГЦИ относится к дисперсному сырью (содержание частиц размером <0,001 мм 58 %), по пластичности – к среднепластичному (число пластичности 21–23), по чувствительности к сушке – к среднечувствительному, по огнеупорности – к тугоплавкому (огнеупорность 1580 °С), по спекаемости – сильноспекающееся сырье с интервалом спекания 120–150 °С. Металлографический анализ ГЦИ представлен на рис. 3.



а



б

Рис. 3. Металлографический анализ: а – ГЦИ; б – ЗШО
Fig. 3. Metallographic analysis: a – GCI; b – ZSHO

В качестве отощителя и выгорающей добавки использовался золошлаковый отход АО «Актобе ТЭЦ», химический состав которого представлен в таблицах и на рисунках.

Согласно металлографическому анализу, в образцах к среднему размеру можно отнести

частицы от 8 до 15 мкм, но встречаются и размером до 55 мкм. ЗШО достаточно хорошо проанализирован в работах [22–24]. ГЦИ и ЗШО после снижения влаги (атмосферной, карьерной и т. д.) до 5 % перемалывались до прохождения сквозь сито при размере ячейки 1 мм.

Размельченные компоненты (до размера менее 1 мм), согласно рецепту, представленному в табл. 5, тщательно перемешивались. После тщательного перемешивания композиция (шихта) смачивалась до влажности 21–23 % (с учетом количества в составах глинистого компонента). Из гомогенизированной тестообразной консистенции пластическим изготовлением произведены образцы (с учетом

требования ГОСТа размером 250×120×65 см), которые в сушильном шкафу доводили до влажности не более 5 %.

Полученный полуфабрикат подвергался термообработке при 1000 °С и выдержки в течение одного часа.

В табл. 6 приведены технические (физико-механические) показатели керамического кирпича.

Таблица 5. Составы, пластичность шихты и показатели после сушки полуфабрикатов

Table 5. Compositions, plasticity of the charge and indicators after drying of semi-finished products

Компонент	Содержание отходов, мас. %				
	1	2	3	4	5
ГЦИ	100	90	85	80	70
ЗШО	–	10	15	20	30
Пластичность, безразмерная величина	22	19	15	11	9
Усадка высушенного образца, %	6,5	6,1	5,6	4,9	4,5

Таблица 6. Технические показатели кирпича

Table 6. Technical indicators of bricks

Показатель	Составы				
	1	2	3	4	5
Прочности при сжатии, МПа	11,5	12,2	13,8	14,7	12,4
Прочности при изгибе, МПа	2,3	2,6	3,0	3,4	2,9
Морозостойкость, циклы	21	25	31	39	27
Водопоглощение, %	14,7	13,2	12,0	11,4	12,5
Марочность кирпича	M100	M100	M125	M125	M100

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На кирпичных заводах обжиг кирпича производится в интервале 950–1050 °С с учетом состава изделия. Эксперименты показали, что керамический кирпич, изготовленный только из ГЦИ и без применения отощителей, будет соответствовать марке М100. Информация, полученная из табл. 5 и 6, продемонстрировала, что увеличение количества ЗШО в керамической массе до 20 % и пропорционально снижение глинистой составляющей до 80 %, благоприятствует увеличению технических показателей. Последующее повышение ЗШО (более 20 %) и уменьшение глинистого связующего способствует снижению технических показателей. Но рост ЗШО с 10 до 30 % заметно понизит число пластичности с 22 до 9, в результате чего при формовании кирпича на его поверхности появятся трещины, т. к. будет недостаточная связующая способность. Рациональным конгломератом, состоящим из техногенного сырья, для производства кирпича не ниже марки 125, целесообразно использовать состав, включающий 20 % ЗШО, следовательно, таким может служить состав № 4 (табл. 6). Согласно требованиям ГОСТ 9169-2021 «Глинистое сырье.

Классификация», глины и отощители, имеющие в своем составе избыточное количество оксида железа ($\text{Fe}_2\text{O}_3 > 3\%$), воспринимаются как сырье с повышенным количеством красящихся оксидов. Количество оксида железа в ГЦИ более 5 % ($\text{Fe}_2\text{O}_3 = 6,74\%$), а в ЗШО более 9 % ($\text{Fe}_2\text{O}_3 = 9,12\%$), поэтому в керамическом кирпиче с использованием такого техногенного сырья образуется гематит [26–28]. Гематит, как показал анализ этих работ, идентифицируется как стержневой железистый минерал, который содействует росту в интервале температур 1000–1050 °С железистого стекла, которое упрочняет керамический кирпич.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

1. Анализ показателей кирпича, без употребления ЗШО, соответствует только марке изделия М100.
2. Зафиксировано, что возрастание важнейших показателей керамического кирпича связано с внедрением в составы керамических масс до 20 % ЗШО, и наоборот, рост содержания ЗШО в керамической массе уже начинает снижать эти показатели.

3. Выявлено, что увеличение содержания ЗШО с 10 до 30 % снижает пластичность шихты (керамической массы) с 22 до 9. Такое снижение способствует образованию трещин на поверхности кирпича при его формовании (низкая связующая способность), поэтому оптимальным составом для получения кирпича марки М125 является состав, содержащий 20 % ЗШО.

4. Установлено, что количество оксида железа в ГЦИ более 5 % ($\text{Fe}_2\text{O}_3 = 6,74\%$), а в ЗШО более 9 % ($\text{Fe}_2\text{O}_3 = 9,12\%$), поэтому в керамическом кирпиче образуется гематит, который

идентифицируется как стержневой железистый минерал, который содействует росту в интервале температур 1000–1050 °С железистого стекла, которое упрочняет кирпич.

5. Выявлено, что использование крупнотоннажных отходов в производстве керамических материалов строительного направления, без употребления натурального ресурсного сырья, указывает на рециклирование техногенного сырья, экологическую защиту окружающей среды и увеличение потребительской основы для комплектования производства керамического кирпича.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Горбачева Н.В. Угольная генерация в условиях нового индустриального развития // Мировая экономика и международные отношения. 2016. Т. 60. № 6. С. 42–51. <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2016-60-6-42-51>. EDN: WFGGCX.
2. Абдрахимов В.З. Влияние фосфорного шлака на технические показатели и фазовый состав керамического кирпича // Известия КГАСУ. 2024. № 3 (69). С. 15–26. <https://doi.org/10.48612/NewsKSUAE/69.2>. EDN: DKLSYS.
3. Игумина В.А., Карючина А.Е., Ровенских А.С. Анализ способов утилизации золошлаковых отходов // Исследования молодых ученых. Материалы VI Международной научной конференции (г. Казань, 20–23 января 2020 г.). Казань, 2020. С. 21–24. EDN: OLAKXT.
4. Золотова И.Ю. Бенчмаркинг зарубежного опыта утилизации продуктов сжигания твердого топлива угольных ТЭС // Инновации и инвестиции. 2020. № 7. С. 123–128. EDN: TGKIVS.
5. Shu-Hua Ma, Min-Di Xu, Qiqige, Xiao-Hui Wang, Xiao Zhou Challenges and Developments in the Utilization of Fly Ash in China // International Journal of Environmental Science and Development. 2017. Vol. 8. Iss. 11. P. 781–785. <http://doi.org/10.18178/ijesd.2017.8.11.1057>.
6. Sharma V., Akhai S. Trends in Utilization of Coal Fly Ash in India: A Review // Journal of Engineering Design & Analysis. 2019. Vol. 2. Iss. 1. P. 12–16.
7. Jian Ding, Shuhua Ma, Shirley Shen, Zongli Xie, Shili Zheng, Yi Zhang Research and Industrialization Progress of Recovering Alumina from Fly Ash: A Concise Review // Waste Management. 2017. Vol. 60. P. 375–387. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.06.009>.
8. Абдрахимов В.З. Рециклинг отходов металлургии в производстве кислотоупоров без применения традиционного природного сырья // Региональная архитектура и строительство. 2024. № 4 (61). С. 54–62. https://doi.org/10.54734/20722958_2024_4_54. EDN: AGKFNG.
9. Patel A., Enman J., Gulkova A., Guntoro P.I., Dutkiewicz A., Ghorbani Y. [et al.] Integrating Biometallurgical Recovery of Metals with Biogenic Synthesis of Nanoparticle // Chemosphere. 2021. Vol. 263. P. 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128306>.
10. Yakun Zhang, Zhensheng Xiong, Liming Yang, Zhong Ren, Penghui Shao, Hui Shi [et al.] Successful Isolation of a Tolerant Co-Flocculating Microalgae Towards Highly Efficient Nitrogen Removal in Harsh Rare Earth Element Tailings (Rees) Wastewater // Water Research. 2019. Vol. 166. P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115076>.
11. Politaeva N.A., Smyatskaya Y.A., Dolbnya I.V., Sobgaida D.S. Microalgae Biotechnology Multiple Use of Chlorella Sorokiniana // Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals (Saint-Petersburg, 27–29 November 2019). Saint-Petersburg, 2021. P. 252–261. EDN: HWSSRN.
12. Абдрахимов Д.В., Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З. Влияние некоторых отходов производств цветной металлургии на физические и механические свойства кирпича // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2004. № 2. С. 4–9. EDN: RRYGOV.
13. Пасмурцева Н.Н. Основные тенденции и проблемы инновационного развития металлургической промышленности Российской Федерации // Вестник Тюменского государственного университета. Социально-экономические и правовые исследования. 2018. Т. 4. № 4. С. 219–231. <https://doi.org/10.21684/2411-7897-2018-4-4-219-231>. EDN: POTJEN.

14. Коряков В.Е., Шишкина А.А., Шишкина П.А. Влияние предприятий металлургической промышленности на окружающую среду и здоровье человека // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. № 7. С. 275–278. EDN: IQASOD.
15. Кальнер В.Д. Экологически ориентированная среда обитания – интегральный критерий качества жизни // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 11. С. 50–54. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-11-50-54>. EDN: CKTJEY.
16. Кряжев А.М., Гусев Т.В., Тихонова И.О., Очеретенко Д.П., Алмгрен Р. Целлюлозно-бумажное производство: устойчивое развитие и формирование экономики замкнутого цикла // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. № 11. С. 48–53. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-11-48-53>. EDN: UPFFVO.
17. Женжурист И.А. Структура, свойства и технологии керамических материалов. Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2021. 47 с.
18. Абдрахимов В.З., Абдрахимов А.В., Вдовина Е.В., Абдрахимова Е.С. Технология производства керамических изделий. Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2007. 98 с. EDN: HPMKVN.
19. Abdрахимov V.Z. Influence of Ash and Slag on the Characteristics of Heat Insulation Based on Metallurgical Waste // Coke and Chemistry. 2023. Vol. 66. P. 310–315. <https://doi.org/10.3103/S1068364X23700874>.
20. Abdрахимov V.Z., Abdрахимova E.S. Effect of an Alkaline Etching Sludge on the Technical Parameters and Phase Composition of Composite Acid-Resistant Ceramic // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2023. Vol. 57. P. 675–681. <https://doi.org/10.1134/S0040579523040024>.
21. Абдрахимов В.З. Рециклинг отходов металлургии без применения природных традиционных материалов в производство кислотоупорных материалов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2023. Т. 21. № 2. С. 21–28. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-2-21-28>. EDN: YSJML.
22. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Физико-химические методы исследования минерального состава и структуры пористости глинистой части «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд // Новые огнеупоры. 2011. № 1. С. 10–16. EDN: BIKIZF.
23. Кайракбаев А.К., Абдрахимов В.З. Влияние золошлакового материала «АО Актобе ТЭЦ» на предельное напряжение сдвига // Уголь. 2020. № 3. С. 76–81. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2020-3-76-81>. EDN: MTBFNA.
24. Абдрахимов В.З., Ильина Т.А. Использование золошлакового материала в производстве пористого заполнителя способствует развитию «зеленой» экономики и транспортно-логической инфраструктуре // Уголь. 2019. № 11. С. 59–63. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2019-11-59-63>. EDN: RTIMWJ.
25. Нарыжная Н.Ю., Сафронов Е.Г., Силинская С.М., Абдрахимов В.З. Экономическая и практическая целесообразность использования золошлакового материала и ферропелли Актюбинской области в производстве сейсмостойкого кирпича // Уголь. 2021. № 10. С. 33–37. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-10-33-37>. EDN: UPMPUA.
26. Павлов В.Ф. Физико-химические основы обжига изделий строительной керамики. М: Стройиздат, 1977. 272 с.
27. Абдрахимов В.З. Исследование методом ЯГР-спектроскопии оксидов железа и фазового состава в керамическом кирпиче на основе отходов ТЭК // Кокс и химия. 2023. № 12. С. 29–35. https://doi.org/10.52351/00232815_2023_12_29. EDN: CZTFZH.
28. Абдрахимов В.З. Рециклинг металлургического железосодержащего шлака в производстве керамического кирпича на основе гидрослюдистой легкоплавкой глины с примесью монтмориллонита // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. № 1. С. 41–50. <https://doi.org/10.48612/NewsKSUAE/67.5>. EDN: HGLFIE.

REFERENCES

1. Gorbacheva N.V. Coal-Fired Power in The New Industrial Development. *World Economy and International Relations*. 2016;60(6):42-51. (In Russ.). <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2016-60-6-42-51>. EDN: WFGGCX.
2. Abdрахимov V.Z. The Effect of Phosphoric Slag On the Technical Parameters and Phase Composition of Ceramic Bricks. *News KSUAE*. 2024;3(69):15-26. (In Russ.). <https://doi.org/10.48612/NewsKSUAE/69.2>. EDN: DKLSYS.
3. Iguminova V.A., Karyuchina A.E., Rovenskikh A.S. Analysis of Methods for Disposal of Ash and Slag Waste. In: *Issledovaniya molodykh uchenykh. Materialy VI Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii = Research of young scientists. Proceedings of the VI International Scientific Conference*. 20–23 January 2020, Kazan. Kazan; 2020. p. 21–24. (In Russ.). EDN: OLAKXT.

4. Zolotova I.Yu. Benchmarking Best Practices of Coal Combustion Product Utilization. *Innovatsii i investitsii*. 2020;7:123-128. (In Russ.). EDN: TGKIVS.
5. Shu-Hua Ma, Min-Di Xu, Qiqige, Xiao-Hui Wang, Xiao Zhou Challenges and Developments in the Utilization of Fly Ash in China. *International Journal of Environmental Science and Development*. 2017;8(11):781-785. <http://doi.org/10.18178/ijesd.2017.8.11.1057>.
6. Sharma V., Akhai S. Trends in Utilization of Coal Fly Ash in India: A Review. *Journal of Engineering Design & Analysis*. 2019;2(1):12-16.
7. Jian Ding, Shuhua Ma, Shirley Shen, Zongli Xie, Shili Zheng, Yi Zhang Research and Industrialization Progress of Recovering Alumina from Fly Ash: A Concise Review. *Waste Management*. 2017;60:375-387. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.06.009>.
8. Abdrakhimov V.Z. Recycling of Metallurgical Waste in The Production of Acid Resistance Without the Use of Traditional Natural Raw Materials. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*. 2024;4(61):54-62. (In Russ.). https://doi.org/10.54734/20722958_2024_4_54. EDN: AGKFNG.
9. Patel A., Enman J., Gulkova A., Guntoro P.I., Dutkiewicz A., Ghorbani Y. [et al.] Integrating Biometallurgical Recovery of Metals with Biogenic Synthesis of Nanoparticle. *Chemosphere*. 2021;263:1-23. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128306>.
10. Yakun Zhang, Zhensheng Xiong, Liming Yang, Zhong Ren, Penghui Shao, Hui Shi [et al.] Successful Isolation of a Tolerant Co-Flocculating Microalgae Towards Highly Efficient Nitrogen Removal in Harsh Rare Earth Element Tailings (Rees) Wastewater. *Water Research*. 2019;166:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115076>.
11. Politaeva N.A., Smyatskaya Y.A., Dolbnya I.V., Sobgaida D.S. Microalgae Biotechnology Multiple Use of Chlorella Sorokiniana. In: *Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals*. 27–29 November 2019, Saint-Petersburg. Saint-Petersburg; 2021. P. 252–261. EDN: HWSSRN.
12. Abdrakhimov D.V., Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. The Influence of Some Wastes from Non-Ferrous Metallurgy Production On the Physical and Mechanical Properties of Bricks. *Izvestiya. Non-Ferrous Metallurgy*. 2004;2:4-9. (In Russ.). EDN: RRYGOV.
13. Pasmurtseva N.N. Main Tendencies and Problems of Innovative Development of the Metallurgical Industry in The Russian Federation. *Tyumen State University Herald. Social, Economic, and Law Research*. 2018;4(4):219-231. (In Russ.). <https://doi.org/10.21684/2411-7897-2018-4-4-219-231>. EDN: POTJEN.
14. Koryakov A.E., Shishkina A.A., Shishkina P.A. Influence of Metallurgical Industries On Ecology. *Izvestiya Tula State University*. 2019;7:275-278. (In Russ.). EDN: IQASOD.
15. Kal'ner V.D. An Ecologically Oriented Human Environment Is an Integral Criterion for The Quality of Life. *Ecology and Industry of Russia*. 2019;23(11):50-54. (In Russ.). <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-11-50-54>. EDN: CKTJEY.
16. Kryazhev A.M., Guseva T.V., Tikhonova I.O., Ocheretenko D.P., Almgren R. Responsible Pulp and Paper Production: Sustainable Development Goals and Circular Economics. *Ecology and Industry of Russia*. 2020;24(11):48-53. (In Russ.). <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-11-48-53>. EDN: UPFFVO.
17. Zhenzhurist I.A. *Structure, Properties and Technologies of Ceramic Materials*. Kazan: Kazan State Power Engineering University, 2021. 47 p. (In Russ.).
18. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimov A.V., Vdovina E.V., Abdrakhimova E.S. *Technology of Production of Ceramic Products*. Samara: Samara State University of Architecture and Civil Engineering, 2007. 98 p. (In Russ.). EDN: HPMKVN.
19. Abdrakhimov V.Z. Influence of Ash and Slag on the Characteristics of Heat Insulation Based on Metallurgical Waste. *Coke and Chemistry*. 2023;66:310-315. <https://doi.org/10.3103/S1068364X23700874>.
20. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. Effect of an Alkaline Etching Sludge on the Technical Parameters and Phase Composition of Composite Acid-Resistant Ceramic. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2023;57:675-681. <https://doi.org/10.1134/S0040579523040024>.
21. Abdrakhimov V.Z. Recycling of Metallurgical Waste Without the Use of Natural Traditional Materials in The Production of Acid-Resistant Materials. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2023;21(2):21-28. (In Russ.). <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-2-21-28>. EDN: YSJML.
22. Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. Physicochemical Methods for Studying the Mineral Composition and Pore Structure for The Argillaceous Part Zircon-Ilmenite Ore Gravitation Tailings. *Novye ognepory*. 2011;1:10-16. (In Russ.). EDN: BIKIZF.
23. Kairakbaev A.K., Abdrakhimov V.Z. Effect of Ash and Slag Material from "Aktobe Thermal Power Plant" Jsc On Ultimate Shear Stress During Brick Drying. *Ugol'*. 2020;3:76-81. (In Russ.). <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2020-3-76-81>. EDN: MTBFNA.
24. Abdrakhimov V.Z., Ilyina T.A. The Use of Ash and Slag Material in The Production of Porous Aggregate Contributes to The Development of "Green" Economy and Transport and Logical Infrastructure. *Ugol'*. 2019;11:59-63. (In Russ.). <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2019-11-59-63>. EDN: RTIMWJ.

25. Narizhnaya N.Yu., Safronov E.G., Silinskaya S.M., Abdrakhimov V.Z. Economic and Practical Feasibility of Using Ash and Feropyl of the Aktobe Region in The Production of Earthquake-Resistant Bricks. *Ugol'*. 2021;10:33-37. (In Russ.). <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-10-33-37>. EDN: UPMPUA.
26. Pavlov V.F. *Physicochemical Principles of Firing Building Ceramics*. Moscow: Stroyizdat, 1977. 272 p. (In Russ.).
27. Abdrakhimov V.Z. Investigation by Jagr Spectroscopy of Iron Oxides and Phase Composition in Ceramic Bricks Based On Fuel and Energy Waste. *Koks i khimiya*. 2023;12:29-35. (In Russ.). https://doi.org/10.52351/00232815_2023_12_29. EDN: CZTFZH.
28. Abdrakhimov V.Z. Recycling of Metallurgical Iron-Containing in The Production of Ceramic Bricks Based On Hydrosfluidic Low-Melting Clay with an Admixture of Montmorillonite. *News KSUAE*. 2024;1:41–50. (In Russ.). <https://doi.org/10.48612/NewsKSUAE/67.5>. EDN: HGLFIE.

Информация об авторах

Балановская Анна Вячеславовна,

к.э.н., доцент, начальник отдела планирования
и контроля цифровой трансформации,
Самарский государственный экономический
университет,
443090, г. Самара, ул. Советской Армии, д. 141,
Россия,
e-mail: balanovskay@mail.ru
Author ID: 267934

Абдрахимова Елена Сергеевна,

к.т.н., доцент, доцент кафедры химии,
Самарский университет
(Национальный исследовательский университет
им. акад. С.П. Королёва),
443086, г. Самара, Московское шоссе, 34,
Россия,
✉e-mail: 3375892@mail.ru
Author ID: 252634

Information about the authors

Anna V. Balanovskaya,

Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor,
Head of the Department of Planning and Control
of Digital Transformation,
Samara State University of Economics,
141 Soviet Army St., Samara 443090,
Russia,
e-mail: balanovskay@mail.ru
Author ID: 267934

Elena S. Abdrakhimova,

Cand. Sci (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Chemistry,
Samara University (National Research University
named after Academician S.P. Korolev,
34 Moskovskoye Sh., Samara 443090, Russia,
✉e-mail: 3375892@mail.ru
Author ID: 252634

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 14.11.2024.
Одобрена после рецензирования 12.12.2024.
Принята к публикации 16.12.2024.

Information about the article

The article was submitted 14.11.2024.
Approved after reviewing 12.12.2024.
Accepted for publication 16.12.2024.



Сорбционная влажность ячеистых бетонов

А.А. Баранова

Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия

Аннотация. В статье приведен сравнительный анализ сорбционной влажности ячеистых бетонов, которая является одной из значимых эксплуатационных характеристик строительных материалов, используемых при производстве ограждающих конструкций. Исследования проводились для неавтоклавных пенобетонов на основе микрокремнезема марок по средней плотности D400, D600 и D800, а также автоклавных газобетонов марок D500 и D600 в соответствии с ГОСТ 12852.6. В процессе работы определены значения сорбционной влажности исследуемых материалов, по которым построены изотермы сорбции ячеистых бетонов в зависимости от относительной влажности воздуха в диапазоне от 57 до 100 %. Экспериментально установлено, что при повышении относительной влажности воздуха с 57 до 100 % сорбционная влажность неавтоклавного пенобетона средней плотностью 400, 600 и 800 кг/м³ увеличилась в 3,67, 5,58 и 5,37 раза соответственно. Для автоклавного газобетона увеличение составило: у образцов средней плотностью 500 кг/м³ в 10,85 раза, у образцов средней плотностью 600 кг/м³ в 10,69 раза. Сравнительный анализ полученных результатов показал, что величина сорбционной влажности зависит не столько от средней плотности ячеистого бетона, сколько от плотности и водонепроницаемости межпоровых перегородок, на которые в большей степени оказывают влияние условия твердения ячеистых бетонов.

Ключевые слова: сорбционная влажность, пенобетон, газобетон, микрокремнезем

Для цитирования: Баранова А.А. Сорбционная влажность ячеистых бетонов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 1. С. 54–63. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-54-63>. EDN: CYZMBK.

Original article

Sorption moisture of cellular concrete

Albina A. Baranova

Angarsk State Technical University, Angarsk, Russia

Abstract. The present article compares grades of cellular concrete in terms of sorption moisture as a significant performance characteristics of building materials for enclosing structures. The studies conducted in accordance with GOST 12852.6 used D400, D600, and D800 non-autoclaved cellular microsilica concrete, as well as D500 and D600 autoclaved aerated concrete. During the study, sorption isotherms of cellular concrete were plotted for the relative air humidity range of 57–100%. According to the conducted experiments, the relative air humidity growing from 57 to 100% increases the sorption moisture of non-autoclaved cellular concrete with an average density of 400, 600, and 800 kg/m³ by 3.67, 5.58, and 5.37 times, respectively. For autoclaved aerated concrete samples with an average density of 500 kg/m³ and 600 kg/m³, the increase is 10.85 and 10.69 times, respectively. The obtained results have proved the value of sorption moisture depending less on the average density of cellular concrete as compared to the density and water resistance of inter pore partitions, which are most affected by the hardening conditions of cellular concrete.

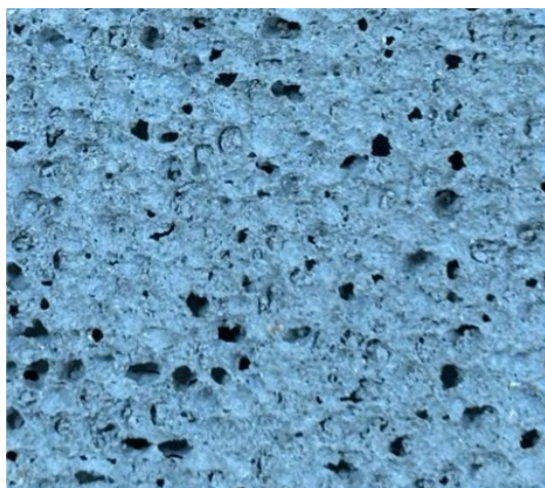
Keywords: sorption humidity, foam concrete, aerated concrete, microsilica

For citation: Baranova A.A. Sorption moisture of cellular concrete. Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate. 2025;15(1):54-63. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-54-63>. EDN: CYZMBK.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время ячеистые бетоны набирают широкую популярность в качестве материала для ограждающих конструкций. Благодаря пористой структуре и низкому коэффициенту теплопроводности они являются энергоэффективными строительными материалами. Использование техногенных отходов при их производстве позволяет не только улучшить механические характеристики и снизить себестоимость продукции, но и решить ряд экологических проблем. Для ячеистых бетонов важными показателями являются средняя плот-

ность и пористость. Стоит отметить, что снижение плотности за счет увеличения пористости повышает сорбционную влажность материала, что способствует увеличению его коэффициента теплопроводности и снижению теплоизоляционной способности. По условиям образования пористости ячеистые бетоны делятся на пенобетоны и газобетоны. У них есть отличия в структуре: при одинаковой средней плотности у газобетона более однородный размер пор, чем у пенобетона. У газобетона поры сообщаются между собой, а структура пенобетона отличается замкнутыми порами (рис. 1).



a



b

Рис. 1. Пористость ячеистых бетонов: а – автоклавный газобетон; б – неавтоклавный пенобетон на основе микрокремнезема
Fig. 1. Porosity of cellular concretes: a – autoclaved aerated concrete; b – non-autoclaved foam concrete based on microsilica

Территория России в зависимости от относительной влажности воздуха делится на три зоны: сухую, нормальную и влажную. Это оказывает большое влияние на теплотехнические характеристики материалов как при проектировании, так и при эксплуатации зданий и сооружений, поэтому исследования гидрофизических характеристик ячеистых бетонов являются весьма актуальными [1–25].

Цель данной работы заключалась в исследовании сорбционной влажности неавтоклавных пенобетонов на основе микрокремнезема и автоклавных газобетонов разных марок по средней плотности.

МЕТОДЫ

Образцы неавтоклавных пенобетонов марок D400, D600 и D800 формовались из пенобетонной смеси заданной средней плотности, приготовленной по классической технологии из портландцемента марки ЦЕМ I 42,5 Н ГОСТ 31108-2003 производства АО «Ангарска-цемент», микрокремнезема производства

АО «Кремний», синтетического пенообразователя «Пента Пав 430 (марка А)» и пластифицирующей добавки на основе поликарбоксилатов «МС-Power-Flow3100» [26]. Концентрация водного раствора пенообразователя составляла 2,5 %, кратность пены – 22÷23, соотношение вяжущего вещества к заполнителю – 1:1. Водотвердое отношение для всех составов было принято равным 0,52. Расход пенообразователя варьировался в зависимости от требуемой средней плотности пенобетона от 0,19 до 0,56 % от массы вяжущего вещества. Расход пластифицирующей добавки составлял 0,92 % от массы вяжущего вещества. Из пенобетонных смесей были изготовлены кубы с размером ребра 100 мм, которые набирали прочность в течение 28 сут. в камере нормального твердения.

Из блоков автоклавного газобетона марок по средней плотности D500 и D600, производства ЗАО «Стройкомплекс», и кубов неавтоклавного пенобетона марок D400, D600 и D800

были отобраны образцы для определения сорбционной влажности по стандартной методике.

В эксикаторах (рис. 2) с помощью раствора серной кислоты определенной плотности была создана заданная относительная влажность воздуха. Раствор серной кислоты плотностью

1,296 г/см³ соответствовал 57 % относительной влажности воздуха, 1,193 г/см³ – 77 % и 1,037 г/см³ – 97 %. 100 % относительная влажность воздуха обеспечивалась технической водой без содержания в ней серной кислоты [27–29]. Температура в помещении составляла 22±1 °С.



Рис. 2. Эксикаторы с образцами ячеистых бетонов
Fig. 2. Desiccators with cellular concrete samples

В течение первых двух месяцев сорбционная влажность образцов определялась через каждые 15 сут., последующие месяцы через каждые 10 сут. и до тех пор, пока масса образцов не стабилизировалась.

Значение сорбционной влажности ячеистого бетона вычислялось как отношение

массы поглощенной образцом материала воды к массе высушенного образца и осреднялось по результатам испытания трех образцов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты проведенных экспериментов представлены в таблицах 1 и 2, а также изображены на рисунках с 3 по 6.

Таблица 1. Равновесная сорбционная влажность ячеистых бетонов

Table 1. Equilibrium sorption humidity of cellular concretes

Относительная влажность воздуха, %	Равновесная сорбционная влажность, %				
	Марка пенобетона			Марка газобетона	
	D400	D600	D800	D500	D600
57 %	4,98	4,54	4,16	1,73	1,66
77 %	5,86	6,11	7,26	2,90	2,80
97 %	16,40	17,12	18,38	14,32	12,86
100 %	18,28	25,34	22,32	18,77	17,74

Данные табл. 1 показывают, что при повышении относительной влажности воздуха с 57 до 100 % сорбционная влажность неавтоклавного пенобетона марок D400, D600 и D800 увеличивается в 3,67, 5,58 и 5,37 раза соответственно. Для автоклавного газобетона увеличение составляет в 10,85 раза у образцов средней плотностью 500 кг/м³ и в 10,69 раза у образцов средней плотностью 600 кг/м³.

Изменения сорбционной влажности ячеистых бетонов от относительной влажности воздуха в диапазоне от 57 до 100 % описываются следующими уравнениями.

Для неавтоклавного пенобетона на основе микрокремнезема:

Марка D400

$$W_C = 0,0116 \cdot x^2 - 1,5032 \cdot x + 53,032 \quad (1)$$

марка D600

$$W_C = 0,0172 \cdot x^2 - 2,2656 \cdot x + 78,113 \quad (2)$$

марка D800

$$W_C = 0,0115 \cdot x^2 - 1,3979 \cdot x + 46,536 \quad (3)$$

Для автоклавного газобетона:

марка D500

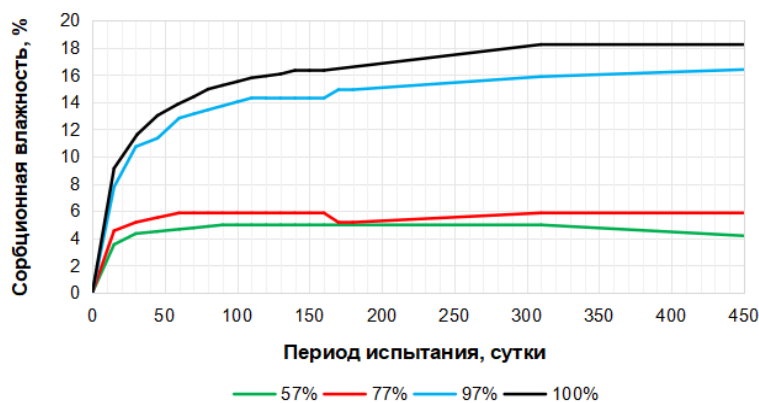
$$W_C = 0,0145 \cdot x^2 - 1,904 \cdot x + 63,085 \quad (4)$$

марка D600

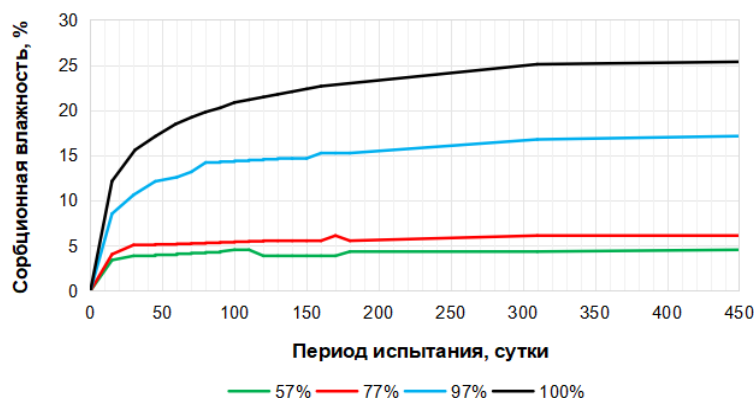
$$W_C = 0,0136 \cdot x^2 - 1,782 \cdot x + 59,22 \quad (5)$$

где x – относительная влажность воздуха, %.

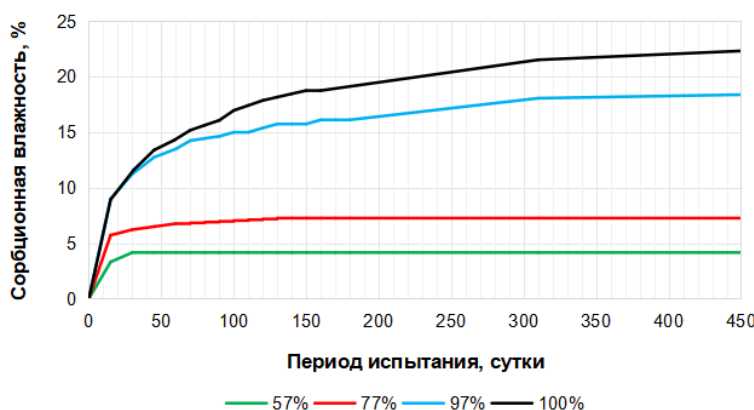
По графикам, изображенным на рис. 3 и 4, составлена табл. 2, в которой указан временной период достижения равновесной сорбционной влажности ячеистых бетонов при разной относительной влажности воздуха.



a

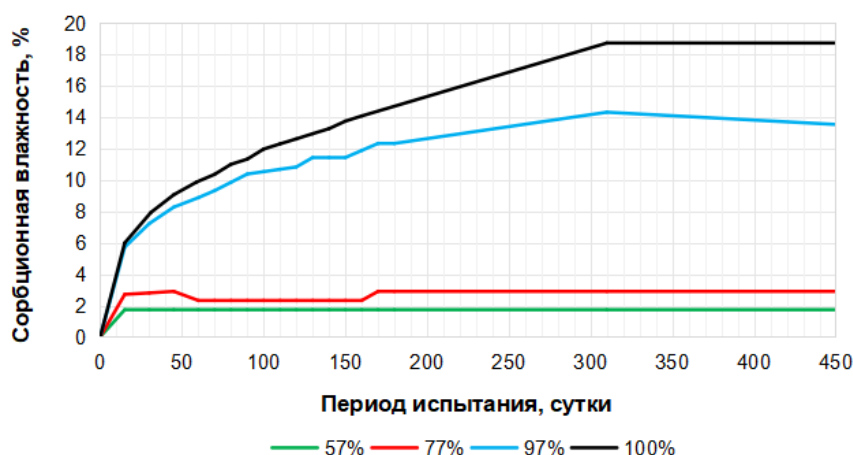


b

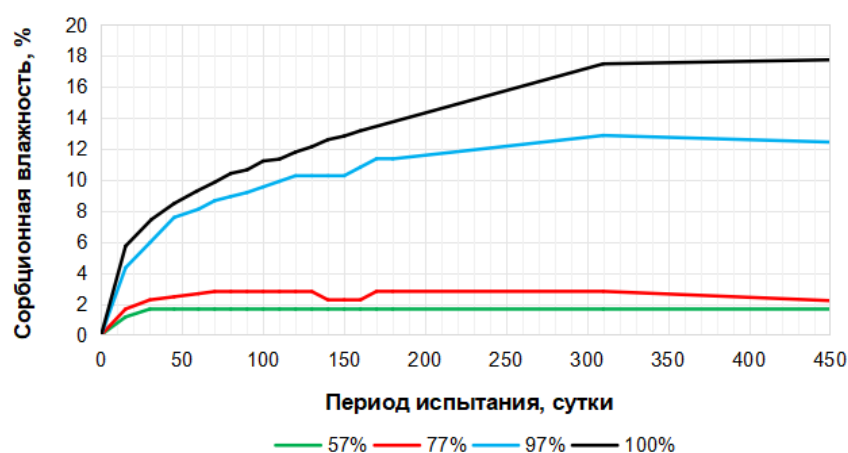


c

Рис. 3. Динамика роста сорбционной влажности неавтоклавного пенобетона на основе микрокремнезема: а – марка D400; б – марка D600; с – марка D800
Fig. 3. Dynamics of growth of sorption humidity of non-autoclaved foam concrete based on microsilica: a – the grade D400; b – the grade D600; c – the grade D800



a



b

Рис. 4. Динамика роста сорбционной влажности автоклавного газобетона:
a – марка D500; b – марка D600

Fig. 4. Dynamics of growth of sorption humidity of autoclaved aerated concrete:
a – the grade D500; b – the grade D600

Таблица 2. Период достижения равновесной сорбционной влажности ячеистых бетонов
Table 2. The period of reaching the equilibrium sorption humidity content of cellular concretes

Относительная влажность воздуха, %	Период достижения равновесной сорбционной влажности, сутки				
	Марка пенобетона			Марка газобетона	
	D400	D600	D800	D500	D600
57 %	90	100	30	15	30
77 %	60	170	130	45	70
97 %	450	450	450	310	310
100 %	450	450	450	310	450

Согласно данным таблицы практически все исследуемые образцы при 100 % относительной влажности воздуха достигают равновесной сорбционной влажности через 450 сут., за исключением автоклавного газобетона марки D500, у которого временной период практически на 30 % меньше и составляет 310 сут. Расхождение в значениях сорбционной влажности

исследуемых неавтоклавных пенобетонов составляет при 57 % относительной влажности воздуха менее 1 %, при 77 % – до 1,4 %, при 97 % – до 2 % и при 100 % – до 7 %.

У автоклавных газобетонов средней плотностью 500 и 600 кг/м³ разница в показаниях не выходит за пределы полутора процентов при любом значении относительной влажности

воздуха. Значения равновесной сорбционной влажности у неавтоклавного пенобетона на основе микрокремнезема марки D600 больше, чем у автоклавного газобетона этой же марки в

2,74 раза при относительной влажности воздуха 57 %, в 2,18 раза при 77 % влажности воздуха, на 33 % при относительной влажности 97 % и на 43 % при 100 % влажности воздуха.

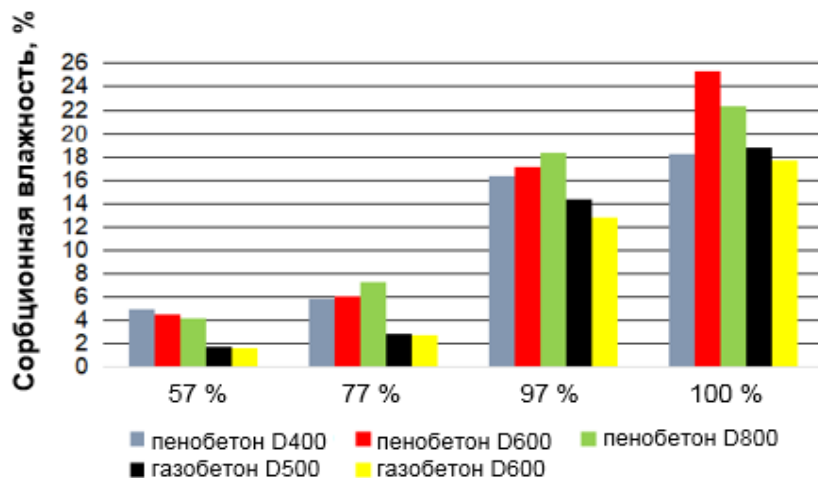


Рис. 5. Равновесная сорбционная влажность ячеистых бетонов
Fig. 5. Equilibrium sorption humidity of cellular concretes

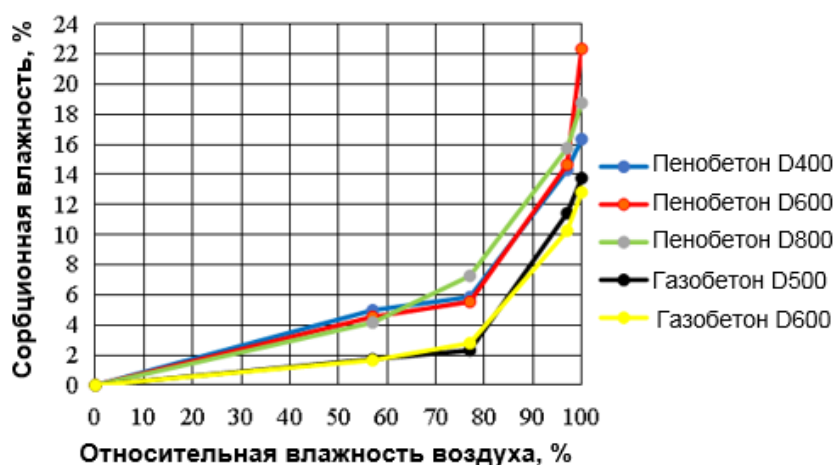


Рис. 6. Изотермы сорбции ячеистых бетонов
Fig. 6. Isotherms of sorption of cellular concretes

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опытным путем было установлено, что при повышении относительной влажности воздуха с 57 до 100 % сорбционная влажность неавтоклавного пенобетона средней плотностью 400, 600 и 800 кг/м³ увеличилась в 3,67, 5,58 и 5,37 раза соответственно. Для автоклавного газобетона увеличение составило в 10,85 раза у образцов средней плотностью 500 кг/м³, в 10,69 раза у образцов средней плотностью

600 кг/м³. Проведенный сравнительный анализ сорбционной влажности автоклавного газобетона с неавтоклавным пенобетоном на основе микрокремнезема установил, что величина сорбционной влажности зависит не столько от средней плотности ячеистого бетона, сколько от плотности и водонепроницаемости межпоровых перегородок, на которые в большей степени оказывают влияние условия твердения ячеистых бетонов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Киселёв И.Я. Экспериментальное исследование зависимости равновесной сорбционной влажности строительных материалов от температур // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 5. С. 492–495. EDN: MTPETZ.

2. Киселёв И.Я. Эмпирические формулы, описывающие изотермы сорбции строительных материалов при положительных и отрицательных температурах // Вестник отделения строительных наук РААСН. 2010. Т. 14. № 2. С. 87–93.
3. Киселёв И.Я. Влияние равновесной сорбционной влажности строительных материалов на сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. № 8 (187). С. 34–35. EDN: SZSXHD.
4. Киселёв И.Я. Равновесная сорбционная влажность ячеистых бетонов и ее полимолекулярноадсорбированная и капиллярно-конденсированная составляющие // Строительные материалы. 2015. № 6. С. 20–22. EDN: UDEIBX.
5. Киселёв И.Я. Метод ускоренного определения равновесной сорбционной влажности легких и ячеистых бетонов // Строительные материалы. 2016. № 6. С. 12–14. EDN: WFGMBX.
6. Ткач Е.В., Семенов В.С., Ткач С.А. Повышение гидрофизических свойств газобетона с использованием отходов промышленности // Научное обозрение. 2015. № 14. С. 194–198. EDN: UMLSGH.
7. Куприянов В.Н., Юзмухаметов А.М., Сафин И.Ш. Влияние влаги на теплопроводность стеновых материалов. Состояние вопроса // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 1 (39). С. 102–110. EDN: YIOARV.
8. Строцкий В.Н., Зимин С.Г., Жоробаев С.С., Крохин А.М. Сорбционная влажность и паропроницаемость ячеистого бетона // Вестник НИЦ «Строительство». 2020. № 4 (27). С. 117–125. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-4\(27\)-117-125](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-4(27)-117-125). EDN: AFVECI.
9. Шакирова В.А. Влагонакопление стеновой конструкции из ячеистого бетона в годовом цикле // Урбанистика. 2021. № 4. С. 55–67. <https://doi.org/10.7256/2310-8673.2021.4.37174>. EDN: VYXYBT.
10. Мордич М.М. Технология и физико-механические свойства керамзитопенобетона для монолитного и сборного строительства // Наука и техника. 2019. Т. 18. № 4. С. 292–302. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-4-292-302>. EDN: JWCBBXR.
11. Серова Р.Ф., Рахимова Г.М., Ткач С.А., Стасилович Е.А., Русанов А.А. Получение эффективного модифицированного газобетона с использованием отходов промышленности и вторичного сырья // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 8-1. С. 41–46. EDN: TZGBVH.
12. Gnip I.Ya., Veyalis S.A., Kershulis V.I. Isotherms of Water Vapor Sorption by Light Inorganic and Polymer Heat-Insulating Materials // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2006. Vol. 79. P. 40–47. <https://doi.org/10.1007/s10891-006-0064-7>.
13. Kunhanandan Nambiar E.K., Ramamurthy K. Sorption Characteristics of Foam Concrete // Cement and Concrete Research. 2007. Vol. 37. Iss. 9. P. 1341–1347. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.05.010>.
14. Hall C., Raymond Yau M.H. Water Movement in Porous Building Materials-IX. The Water Absorption and Sorptivity of Concretes // Building and Environment. 1987. Vol. 22. Iss. 1. P. 77–82. [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(87\)90044-8](https://doi.org/10.1016/0360-1323(87)90044-8).
15. Gopalan M.K. Sorptivity of Fly Ash Concretes // Cement and Concrete Research. 1996. Vol. 26. Iss. 8. P. 1189–1197. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(96\)00105-6](https://doi.org/10.1016/0008-8846(96)00105-6).
16. Lam Nguyen Trong, Shingo Asamoto, Kunio Matsui Sorption Isotherm and Length Change Behavior of Autoclaved Aerated Concrete // Cement and Concrete Composites. 2018. Vol. 94. P. 136–144. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.09.003>.
17. Narayanan N., Ramamurthy K. Structure and Properties of Aerated Concrete: A Review // Cement and Concrete Composites. 2000. Vol. 22. Iss. 5. P. 321–329. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00016-0](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00016-0).
18. Hock Yong Tiong, Siong Kang Lim, Yee Ling Lee, Ming Kun Yew, Jee Hock Lim Absorption and Strength Properties of Lightweight Foamed Concrete with Egg Shell Powder as Partial Replacement Material of Cement // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 476. P. 1–11. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/476/1/012021>.
19. Kearsley E.P., Wainwright P.J. Porosity and Permeability of Foamed Concrete // Cement and Concrete Research. 2001. Vol. 31. Iss. 5. P. 805–812. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00490-2](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00490-2).
20. Madjoudj N., Dheilly R.M., Queneudec M., Dhir R.K., Hewlett P.C., Csetenyi L.J. Water Capillary Absorption of Cellular Clayed Concrete Obtained by Proteinic Foaming // Innovations and Developments in Concrete Materials and Construction. 2002. P. 513–521.
21. Khatib J.M., Clay R.M. Absorption Characteristics of Metakaolin Concrete // Cement and Concrete Research. 2004. Vol. 34. Iss. 1. P. 19–29. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00188-1](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00188-1).
22. Abd Elrahman M., Sang-Yeop Chung, Dietmar S. Effect of Different Expanded Aggregates On the Properties of Lightweight Concrete // Magazine of Concrete Research. 2019. Vol. 71. Iss. 2. P. 95–107. <https://doi.org/10.1680/jmacr.17.00465>.
23. Karolina R., Sianipar Y.G.C. The Utilization of Stone Ash On Cellular Lightweight Concrete // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 309. P. 1–6. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/309/1/012084>.

24. Raj A., Sathyan D., Mini K.M. Physical and Functional Characteristics of Foam Concrete: A Review // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 221. P. 787–799. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.052>.
25. Jitchaiyaphum K., Sinsiri T., Jaturapitakkul C., Chindaprasit P. Cellular Lightweight Concrete Containing High-Calcium Fly Ash and Natural Zeolite // *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*. 2013. Vol. 20. P. 462–471. <https://doi.org/10.1007/s12613-013-0752-1>.
26. Баранова А.А., Савенков А.И. Пенобетон, модифицированный микрокремнеземом ЗАО «Кремний» // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2014. № 8 (91). С. 78–82. EDN: SYRBUJ.
27. Baranova A., Bygajchuk V. Investigation of Water Absorption of Non-Autoclaved Foam Concretes Based On Microsilica // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 880. P. 1–6. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/880/1/012003>. EDN: TBCMNH.
28. Baranova A., Chernykh V. Water Absorption of Cellular Concretes Made On the Basis of Technogenic Raw Materials // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 751. P. 1–7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/751/1/012114>.
29. Черных В.А., Баранова А.А., Скулин А.С., Коцырь А.И. Определение сорбционной влажности ячеистых бетонов // *Современные технологии и научно-технический прогресс*. 2021. Т. 1. № 8. С. 203–204. EDN: JYFPCX.

REFERENCES

1. Kiselyov I.Ya. Experimental Study of the Dependence of Equilibrium Sorption Moisture of Building Materials On Temperatures. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2009;5:492-495. (In Russ.). EDN: MTPETZ.
2. Kiselyov I.Ya. Empirical Formulas Describing the Sorption Isotherms of Building Materials at Positive and Negative Temperatures. *Vestnik otdeleniya stroitel'nykh nauk RAASN*. 2010;14(2):87-93. (In Russ.).
3. Kiselyov I.Ya. Influence of Equilibrium Sorption Humidity of Construction Materials On Heat Transfer Resistance of Buildings External Fencing Structures. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. 2014;8(187):34-35. (In Russ.). EDN: SZSXHD.
4. Kiselyov I.Ya. Equilibrium Sorption Humidity of Cellular Concretes and Its Polymolecular-Adsorbed and Capillary-Condensed Components. *Construction Materials*. 2015;6:20-22. (In Russ.). EDN: UDEIBX.
5. Kiselyov I.Ya. Method for Accelerated Determination of Equilibrium Sorption Humidity of Light and Cellular Concretes. *Construction Materials*. 2016;6:12-14. (In Russ.). EDN: WFGMBX.
6. Tkach E.V., Semenov V.S., Tkach S.A. Improving The Hydrophysical Properties of Aerated Concrete with The Usage of Industrial Waste. *Nauchnoe obozrenie*. 2015;14:194-198. (In Russ.). EDN: UMLSGH.
7. Kupriyanov V.N., Yuzmuhametov A.M., Safin I.Sh. Influence of Moisture On Heat Conductivity of Walling Materials. The State of the Issue. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2017;1(39):102-110. (In Russ.). EDN: YIOARV.
8. Strotskiy V.N., Zimin S.G., Zhorobaev S.S., Krokhin A.M. Sorption Humidity and Vapor Permeability of Cellular Concrete. *Bulletin of the Scientific Research Center Construction*. 2020;4(27):117-125. (In Russ.). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-4\(27\)-117-125](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-4(27)-117-125). EDN: AFVECI.
9. Shakirova V.A. Accumulation of Moisture of Cellular Concrete Wall Structures in The Annual Cycle. *Urban Studies*. 2021;4:55-67. (In Russ.). <https://doi.org/10.7256/2310-8673.2021.4.37174>. EDN: VYXYBT.
10. Mordzich M.M. Technology and Physico-Mechanical Properties of Claydite Foam Concrete for Monolithic and Prefabricated Construction. *Science and Technique*. 2019;18(4):292-302. (In Russ.). <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-4-292-302>. EDN: JWCBOX.
11. Serova R.F., Rakhimova G.M., Tkach S.A., Stasilovich E.A., Russanov A.A. Obtaining Effective Modified Gas-Concrete Using Industrial Wastes and Secondary Raw Materials. *International Journal of Experimental Education*. 2015;8-1:41-46. (In Russ.). EDN: TZGBVH.
12. Gnip I.Ya., Veyalis S.A., Kershulis V.I. Isotherms of Water Vapor Sorption by Light Inorganic and Polymer Heat-Insulating Materials. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2006;79:40-47. <https://doi.org/10.1007/s10891-006-0064-7>.
13. Kunhanandan Nambiar E.K., Ramamurthy K. Sorption Characteristics of Foam Concrete. *Cement and Concrete Research*. 2007;37(9):1341-1347. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.05.010>.
14. Hall C., Raymond Yau M.H. Water Movement in Porous Building Materials-IX. The Water Absorption and Sorptivity of Concretes. *Building and Environment*. 1987;22(1):77-82. [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(87\)90044-8](https://doi.org/10.1016/0360-1323(87)90044-8).
15. Gopalan M.K. Sorptivity of Fly Ash Concretes. *Cement and Concrete Research*. 1996;26(8):1189-1197. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(96\)00105-6](https://doi.org/10.1016/0008-8846(96)00105-6).

16. Lam Nguyen Trong, Shingo Asamoto, Kunio Matsui Sorption Isotherm and Length Change Behavior of Autoclaved Aerated Concrete. *Cement and Concrete Composites*. 2018;94:136-144. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.09.003>.
17. Narayanan N., Ramamurthy K. Structure and Properties of Aerated Concrete: A Review. *Cement and Concrete Composites*. 2000;22(5):321-329. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00016-0](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00016-0).
18. Hock Yong Tiong, Siong Kang Lim, Yee Ling Lee, Ming Kun Yew, Jee Hock Lim Absorption and Strength Properties of Lightweight Foamed Concrete with Egg Shell Powder as Partial Replacement Material of Cement. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;476:1-11. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/476/1/012021>.
19. Kearsley E.P., Wainwright P.J. Porosity and Permeability of Foamed Concrete. *Cement and Concrete Research*. 2001;31(5):805-812. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00490-2](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00490-2).
20. Madjoudj N., Dheilly R.M., Queneudec M., Dhir R.K., Hewlett P.C., Csetenyi L.J. Water Capillary Absorption of Cellular Clayed Concrete Obtained by Proteinic Foaming. *Innovations and Developments in Concrete Materials and Construction*. 2002:513-521.
21. Khatib J.M., Clay R.M. Absorption Characteristics of Metakaolin Concrete. *Cement and Concrete Research*. 2004;34(1):19-29. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00188-1](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00188-1).
22. Abd Elrahman M., Sang-Yeop Chung, Dietmar S. Effect of Different Expanded Aggregates On the Properties of Lightweight Concrete. *Magazine of Concrete Research*. 2019;71(2):95-107. <https://doi.org/10.1680/jmacr.17.00465>.
23. Karolina R., Sianipar Y.G.C. The Utilization of Stone Ash On Cellular Lightweight Concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018;309:1-6. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/309/1/012084>.
24. Raj A., Sathyan D., Mini K.M. Physical and Functional Characteristics of Foam Concrete: A Review. *Construction and Building Materials*. 2019;221:787-799. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.052>.
25. Jitchaiyaphum K., Sinsiri T., Jaturapitakkul C., Chindaprasit P. Cellular Lightweight Concrete Containing High-Calcium Fly Ash and Natural Zeolite. *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*. 2013;20:462-471. <https://doi.org/10.1007/s12613-013-0752-1>.
26. Baranova A.A., Savenkov A.I. Aerated Concrete Modified by Silicafume of "Kremniy" CJSC. Proceedings of Irkutsk State Technical University. 2014;8(91):78-82. (In Russ.). EDN: SYRBUJ.
27. Baranova A., Bygajchuk V. Investigation of Water Absorption of Non-Autoclaved Foam Concretes Based On Microsilica. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;880:1-6. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/880/1/012003>. EDN: TBCMNH.
28. Baranova A., Chernykh V. Water Absorption of Cellular Concretes Made On the Basis of Technogenic Raw Materials. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;751:1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/751/1/012114>.
29. Chernykh V.A., Baranova A.A., Skulin A.S., Kotsyr A.I. Determination of Sorption Humidity of Cellular Concrete. *Modern Technologies and Scientific and Technological Progress*. 2021;1(8):203-204. EDN: JYFPCX.

Информация об авторе

Баранова Альбина Алексеевна,
к.т.н., доцент, доцент кафедры
промышленного и гражданского строительства,
Ангарский государственный
технический университет,
665835, г. Ангарск, квартал 85а, д. 5,
Россия,
✉ e-mail: baranova2012aa@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5939-3334>
Author ID: 680451

Information about the author

Albina A. Baranova,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Industrial and Civil Engineering,
Angarsk State Technical University,
5, 85a District, Angarsk 665835,
Russia,
✉ e-mail: baranova2012aa@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5939-3334>
Author ID: 680451

Вклад автора

Автор выполнил исследовательскую работу,
на основании полученных результатов провел
обобщение, подготовил рукопись к печати.

Contribution of the author

The author performed the research, made
generalization based on the results obtained and
prepared the copyright for publication.

Автор имеет на статью исключительные авторские права и несет ответственность за плагиат.

Author has exclusive author's right and bear responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Conflict of interests

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflict of interests.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved by the author

Информация о статье

Information about the article

Статья поступила в редакцию 14.01.2025.
Одобрена после рецензирования 31.01.2025.
Принята к публикации 03.02.2025.

The article was submitted 14.01.2025.
Approved after reviewing 31.01.2025.
Accepted for publication 03.02.2025.

Об асимптотических особенностях n -сферС.С. Боков^{1✉}, Р.Н. Шматков²¹Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия²Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, Россия

Аннотация. Трехмерная сфера, в силу своего удобства, простоты и универсальности, применяется во многих областях современной науки и техники, является объектом компьютерного моделирования. Из-за повышения количества параметров современных моделей, в целях адекватности моделирования, необходимо рассматривать более сложную, чем трехмерная сфера, область ограничения параметров моделирования – n -мерную сферу (или n -сферу). Так, например, в астрономии для моделирования движения небесных тел применяется уже четырехмерная сфера, поскольку к трем известным параметрам (длина, ширина, высота) движения материальной точки добавляется четвертый параметр – время. В других областях науки количество параметров моделирования возрастает и, тем самым, увеличивается размерность сферы, их ограничивающей. В итоге возникает вопрос: до каких пор можно увеличивать количество параметров моделирования, чтобы модель была релевантной. В настоящей статье делается попытка ответить на данный вопрос. В статье рассматриваются асимптотические особенности параметров n -сфер (при неограниченном увеличении размерности сферы, и количества параметров моделирования), приводится аналитическое решение указанной проблемы и ее численное моделирование. Выдвигается гипотеза об ограниченном использовании n -сфер для моделей большого порядка. Статья может представлять интерес для научных работников и студентов, изучающих численное моделирование и поведение гиперсфер на бесконечности.

Ключевые слова: n -сфера, n -шар, гиперсфера, моделирование, задачи оптимизации

Для цитирования: Боков С.С., Шматков Р.Н. Об асимптотических особенностях n -сфер // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 1. С. 64–72. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-64-72>. EDN: XSVWXG.

Original article

On asymptotic features of n -spheresSergei S. Bokov^{1✉}, Ruslan N. Shmatkov²¹Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia²Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

Abstract. As an object of computer simulation, a three-dimensional sphere is used in many areas of contemporary science and technology due to its convenience, simplicity, and versatility. An increased number of parameters for contemporary models complicates the limiting area of simulation parameters to an n -dimensional sphere (n -sphere). For example, a four-dimensional sphere used in astronomy to simulate the movement of celestial bodies includes a fourth parameter of time in addition to the length, width, and height of material point movement. In other areas of science, the growing number of simulation parameters increases the dimensionality of the limiting sphere. This sets the problem of the limit number of simulation parameters for maintaining the relevance of the model. The article examines the asymptotic features of n -sphere parameters at an unlimited increase in the sphere dimensionality and number of simulation parameters. For providing an analytical solution to the problem and its numerical simulation, a hypothesis about the limited use of n -spheres for high-order models is put forward. The article may be of interest to researchers and students studying numerical simulation and infinite behavior of hyperspheres.

© Боков С.С., Шматков Р.Н., 2025

Keywords: n-sphere, n-ball, hypersphere, modeling, optimization problems

For citation: Bokov S.S., Shmatkov R.N. On asymptotic features of n-spheres. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(1):64-72. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-64-72>. EDN: XSVWXG.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день существует множество задач оптимизации и классификации из различных областей знания, в которых рассматриваемые параметры представлены n-сферами (гиперсферами). Например, задачи машинного обучения, оптимального управления и ряд других [1–3]. Актуальной проблемой является решение конкретных задач цифровизации и применения информационных технологий как в отдельных отраслях народного хозяйства, так и в строительстве в частности [4, 5]. Так, например, гиперсферы минимального объема в многомерном пространстве используются для описания распределения данных об энергопотреблении зданий [6]. Рассматривая n-сферы (или n-шары) порядка от $n=4$ и более, возникает задача представления их на размерностях меньшего порядка. Далее в статье понятие n-сфера (гиперсфера) будет применяться как для описания класса n-мерных поверхностей, так и для n-мерных геометрических тел, т. е. n-шаров, подразумевая, что из контекста понятно, о какой именно характеристике идет речь. Рассмотрим как изменяются площади поверхности S_n и объемы V_n в зависимости от n для того, чтобы перейти к заданию граничных условий в задачах оптимизации.

Для n-сферы размерности n (в-мерном евклидовом пространстве) площадь поверхности S_{n-1} и объем V_n , ограниченный ею (объем n-шара), можно рассчитать по формулам [7–9]:

$$S_{n-1} = n \cdot C_n \cdot R^{n-1} \quad (1)$$

$$V_n = C_n \cdot R^n, \quad (2)$$

где

$$C_n = \pi^{n/2} / \Gamma(n/2 + 1), \quad (3)$$

а $\Gamma(x)$ – гамма-функция.

Изучим как ведет себя площадь поверхности n-сферы при росте размерности пространства n . Не уменьшая общности, принимаем радиус n-сферы $R=1$.

Рассмотрим два случая:

$$\text{I) } n = 2k \quad \text{II) } n = 2k + 1 \text{ при } n \rightarrow \infty$$

$$\text{I) } S_{2k} = 2k \cdot C_{2k} = 2k \cdot \pi^k / \Gamma(k + 1) =$$

Так как для любого целого неотрицательного n верно $\Gamma(n + 1) = n!$, то

$$= 2k \cdot \pi^k / k! = 2 \cdot \pi^k / (k - 1)! =$$

Согласно формуле Стирлинга $n! \approx \sqrt{2\pi n} (n/e)^n$, выполним замену $k-1=m$:

$$= \frac{2 \cdot \pi^{m+1}}{\sqrt{2\pi m} (m/e)^m} = \frac{\sqrt{2\pi}}{\sqrt{m}} \cdot \left(\frac{\pi e}{m}\right)^m$$

При $m \rightarrow \infty$ получим:

$$\begin{aligned} \lim_{m \rightarrow \infty} S_{2(m+1)} &= \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{2\pi}}{\sqrt{m}} \cdot \left(\frac{\pi e}{m}\right)^m = \\ &= \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{2\pi}}{\sqrt{m}} \cdot \lim_{m \rightarrow \infty} \left(\frac{\pi e}{m}\right)^m = 0 \cdot \lim_{m \rightarrow \infty} e^{\ln\left(\frac{\pi e}{m}\right)^m} = 0 \cdot e^{\lim_{m \rightarrow \infty} m \ln\left(\frac{\pi e}{m}\right)} = 0 \cdot e^{\lim_{m \rightarrow \infty} m \cdot (\ln \pi + \ln e - \ln m)} = \\ &= 0 \cdot e^{\lim_{m \rightarrow \infty} m \cdot (\ln \pi + 1 - \ln m)} = 0 \cdot e^{-\infty} = 0 \end{aligned}$$

Для случая II)

$$S_{2k+1} = (2k+1) \cdot C_{2k+1} = (2k+1) \cdot \pi^{2k+1/2} / \Gamma(2k+1/2+1)$$

Выполним замену $\frac{2k+1}{2} = p$, тогда

$$S_{2k+1} = 2p \cdot \pi^p / \Gamma(p+1) = \frac{2p \cdot \pi^p}{p!}$$

Следовательно, этот случай сводится к случаю I). Отсюда можно заключить, что при $n \rightarrow \infty$ площадь поверхности n-сферы $S_n \rightarrow 0$.

Аналогично, рассмотрим поведение объема V_n n-шара при росте размерности пространства n. Не уменьшая общности, принимаем радиус n-шара $R=1$.

Аналогично нахождению предела площади поверхности гиперсферы, нахождение предела объема гиперсферы можно разделить на два случая:

I) $n = 2k$ II) $n = 2k+1$ при $n \rightarrow \infty$.

$$I) V_{2k} = C_{2k} = \pi^k / \Gamma(k+1) = \pi^k / k! = \frac{\pi^k}{\sqrt{2\pi k} (k/e)^k} = \frac{1}{\sqrt{2\pi k}} \cdot \left(\frac{\pi e}{k}\right)^k$$

При $k \rightarrow \infty$ получим:

$$\begin{aligned} \lim_{k \rightarrow \infty} V_{2k} &= \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi k}} \cdot \left(\frac{\pi e}{k}\right)^k = \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi k}} \cdot \lim_{k \rightarrow \infty} \left(\frac{\pi e}{k}\right)^k = 0 \cdot e^{-\infty} = 0 \end{aligned}$$

$$II) V_{2k+1} = C_{2k+1} = \pi^{2k+1/2} / \Gamma(2k+1/2+1) = [\text{замена } 2k+1/2 = p] = \pi^p / p!$$

Следовательно, второй случай сводится к первому. А значит и объем V_n n-шара при $n \rightarrow \infty$ стремится к нулю. Частично такой же результат получен в [10].

Рассчитаем значения для первых двадцати пяти S_n и V_n . Для расчета был написан алгоритм на языке Python (рис. 1). При формировании алгоритма было использовано следующее разложение для (3), указанное в [10]:

$$C_{2k} = \pi^k / k! \text{ и } C_{2k+1} = 2^{k+1} \cdot \pi^k / (2k+1)!! \quad (4)$$

Полученные значения с точностью до 6-го знака представлены в таблице.

Значения параметров n-сфер

The values of the n-spheres parameters

n	S_n	V_n
1	2,000000	2,000000
2	6,283185	3,141593
3	12,566371	4,188790
4	19,739209	4,934802
5	26,318945	5,263789
6	31,006277	5,167713
7	33,073362	4,724766
8	32,469697	4,058712
9	29,686580	3,298509
10	25,501640	2,550164
11	20,725143	1,884104
12	16,023153	1,335263

Окончание табл.

n	S_n	V_n
13	11,838174	0,910629
14	8,389703	0,599265
15	5,721649	0,381443
16	3,765290	0,235331
17	2,396679	0,140981
18	1,478626	0,082146
19	0,885810	0,046622
20	0,516138	0,025807
21	0,292932	0,013949
22	0,162149	0,007370
23	0,087645	0,003811
24	0,046310	0,001930
25	0,023943	0,000958

```

1 import math
2 #Функция факториала
3 def fact(l: int) -> int:
11 #Функция для двойного факториала
12 def fact_d(l: int) -> int:
22 # Вычисление Площадей поверхности n-сфер
23 print('Area:')
24 for i in range(1, 26):
25     if i % 2 == 0:
26         k = i // 2
27         s = (2 * k * (math.pi ** k)) / fact(k)
28         v = (math.pi ** k) / fact(k)
29         print('№ ', i, ' - ', end='')
30         print(f"{s:6.4f}")
31     if i % 2 == 1:
32         k = (i - 1) // 2
33         s = ((2 * k + 1) * (2 ** (k + 1)) * (math.pi ** k)) / fact_d(2 * k + 1)
34         v = (2 ** (k + 1) * (math.pi ** k)) / fact_d(2 * k + 1)
35         print('№ ', i, ' - ', end='')
36         print(f"{s:6.4f}")
37 # Вычисление Объемов n-сфер
38 print('Volume:')
39 for i in range(1, 26):
40     if i % 2 == 0:
41         k = i // 2
42         v = (math.pi ** k) / fact(k)
43         print('№ ', i, ' - ', end='')
44         print(f"{v:6.4f}")
45     if i % 2 == 1:
46         k = (i - 1) // 2
47         v = (2 ** (k + 1) * (math.pi ** k)) / fact_d(2 * k + 1)
48         print('№ ', i, ' - ', end='')
49         print(f"{v:6.4f}")

```

Рис. 1. Алгоритм вычисления S_n и V_n n-сфер
Fig. 1. The algorithm for calculating S_n and V_n n-spheres

Графически сходимость S_n и V_n к 0 представлена на рис. 2.

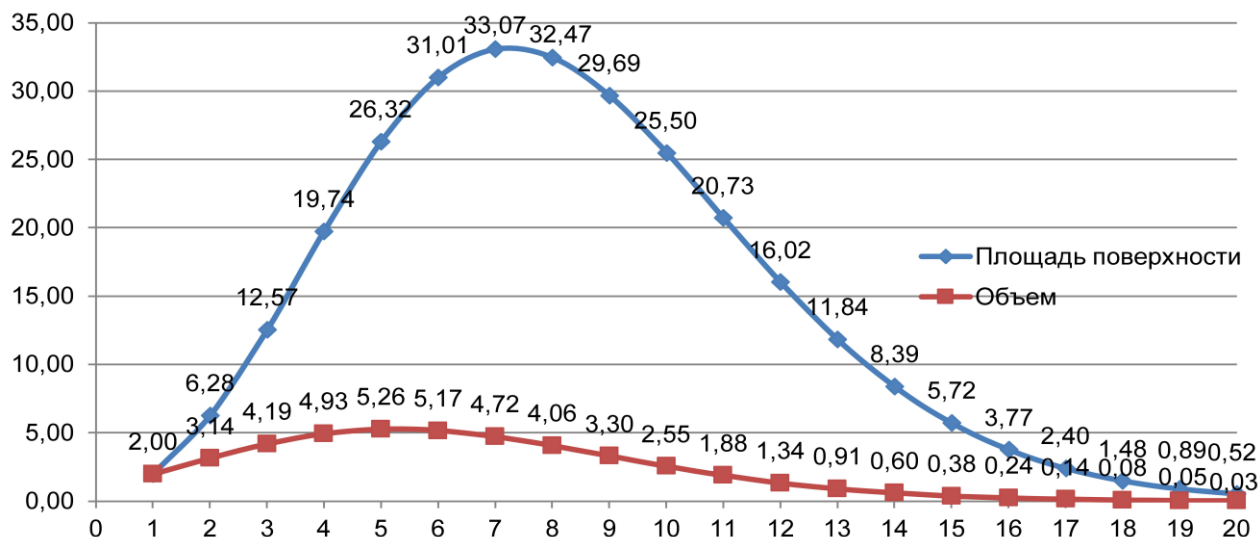


Рис. 2. S_n и V_n n-сфер единичного радиуса в зависимости от n
Fig. 2. S_n и V_n n-sphere of unit radius depending on n

Как видно из полученных данных, экстремумы значений для S_n и V_n наблюдаются на размерностях n равных 6 и 5 соответственно. Обратим внимание, что для задач оптимизации рассматриваются случаи граничных условий, начиная от S_1 , геометрически соответствующей двумерному кругу, и V_3 , геометрически соответствующей трехмерному шару. Выбрав значения S и V этих фигур, при $R=1$, за базисные, заметим, что для площади поверхности n-сферы S_n становятся меньше начиная с $n=14$, а для V_n уже с $n=8$. Для $n=18$ и $n=14$ значения S_n и V_n составляют уже менее 15 % соответственно. Авторы этим наблюдением хотят показать, что возможно для некоторых типов задач, чрезмерное повышение размерности не будет давать нужной точности. В случаях определенной постановки задач такая сходимость к нулю может иметь положительный аспект.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Многокритериальные модели, в которых граничные условия задаются гиперсферой требуют более глубокого анализа. На их основе возможна разработка методов управления данными информационными моделями, в том числе решение задач машинного обучения. При решении задач развертки или масштабирования таких моделей на пространство меньших размерностей, как это реализовано в [11, 12, 15], возможен переход к визуализации, трансформации и анализу информации сложных систем [13]. Дальнейшими векторами развития моделей, использующих n-сферы, могут быть алгоритмы, которые переходят от простого отображения одной гиперсферой несколькими [14] или которые включают в себя подбор оптимальных гиперпараметров, нормализацию радиуса гиперсфер и настройку параметров оптимизации при моделировании [15, 16]. Как справедливо замечено в [17–19], с помощью цифровых технологий можно оптимизировать процесс понижения размерностей и, путем автоматизированного отбора небольшого количества наиболее информативных признаков, значительно сократить число просматриваемых проекций. А применение информационных моделей и современных технологий моделирования значительно облегчает разработку проекта строительства [20]. Сейчас в сфере строительного рынка существует ряд приоритетных задач, которые кроме модернизации существующих механизмов инвестиционно-строительной деятельности требуют разработки новых подходов [21, 22]. Например, для задач управления жизненным циклом объектов капитального и транспортного строительства разрабатываются технологии на основе искусственных нейронных сетей, обучаемых методами машинного обучения [23, 24].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье показаны асимптотические особенности площадей поверхности n-сфер и объемов ими ограниченных. Представлен алгоритм для вычисления S_n и V_n n-сфер единичного радиуса и проанализированы полученные значения. Выдвигается гипотеза об ограниченной применимости n-сфер для задач оптимизации и классификации. Следующим шагом предполагается работа по использованию n-сфер для моделирования и анализа при внедрении информационных технологий, в том числе технологий нейронных сетей, в отрасли строительства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ларин А.О., Середин О.С., Копылов А.В. Модифицированный критерий для описания данных гиперсферой с учетом нетипичных объектов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 10. С. 231–239. EDN: BFLGEK.
2. Мелешкин С.Н. Метод построения собственных областей классов в виде гиперсфер в задачах оптимизации разделяющих поверхностей // Национальная Ассоциация Ученых. 2015. № 3-3. С. 88–92. EDN: YGFJKZ.
3. Саушев А.В. Оптимизация параметров сложных электротехнических систем // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2013. № 2 (21). С. 35–44. EDN: RUOHZL.
4. Землянский А.А., Снежко В.Л., Зайнудинов С.З. Актуальные основы цифровизации. М.: Спутник+, 2019. 165 с. EDN: FBHRVH.
5. Лапидус А.А., Локтев В.А. Формирование методики совершенствования процесса управления жизненным циклом объектов социальной инфраструктуры // Components of Scientific and Technological Progress. 2023. № 7 (85). С. 30–34. EDN: DDGQGB.
6. Lei Lei, Bing Wu, Xin Fang, Li Chen, Hao Wu, Wei Liu A Dynamic Anomaly Detection Method of Building Energy Consumption Based on Data Mining Technology // Energy. 2023. Vol. 263. P. 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125575>.
7. Виноградов И.М. Математическая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1985. Т. 5. 624 с.
8. Неклюдов А.В. Некоторые нестандартные доказательства и задачи в курсе математического анализа // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 5 (17). С. 1–11. EDN: RHAKVT.
9. Huber G. Gamma Function Derivation of n-Sphere Volumes // The American Mathematical Monthly. 1982. Vol. 89. Iss. 5. P. 301–302. <https://doi.org/10.2307/2321716>.
10. Бураков С.В., Зиборов Е.Д., Сыпачев В.С., Тюкачева И.М. Вычисление площади n-мерной сферы с помощью интеграла Пуассона // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2017. Т. 2. № 13. С. 265–267. EDN: YQWFZN.
11. Sami I. Muslih, Om P. Agrawal A Scaling Method and Its Applications to Problems in Fractional Dimensional Space // Journal of Mathematical Physics. 2009. Vol. 50. Iss. 12. P. 123501. <https://doi.org/10.1063/1.3263940>.
12. Русанов В.С., Рязанцев М.Н. Модификация алгоритма масштабируемой гиперсферы для поиска путей реакции на поверхности потенциальной энергии молекул // Неделя науки СПбПУ. Материалы науч. конф. с междунар. участием (г. Санкт-Петербург, 13–19 ноября 2017 г.). СПб, 2017. С. 284–286. EDN: YCGHGR.
13. Qing Li, Guanzhong Wu, Hang Ni, Tao You Anomaly Detection with Dual-Channel Heterogeneous Graph Based On Hypersphere Learning // Information Sciences. 2024. Vol. 681. P. 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2024.121242>.
14. Сират Д. Моделирование и методы оптимизации затрат на развитие кластеризованных организационных структур управления строительных компаний // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 2. С. 348–355. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-2-348-355>. EDN: UEVQNI.
15. Dapeng Wang, Dequan Zhang, Yuan Meng, Meide Yang, Chuizhou Meng, Xu Han et al. AK-HRⁿ: An Efficient Adaptive Kriging-Based N-Hypersphere Rings Method for Structural Reliability Analysis // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 2023. Vol. 414. P. 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2023.116146>.
16. Hughes M., Goerigk M., Wright M. A Largest Empty Hypersphere Metaheuristic for Robust Optimisation with Implementation Uncertainty // Computers and Operations Research. 2019. Vol. 103. P. 64–80. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.10.013>.
17. Davey N.A.C., Chase J.G., Cong Zhou, Liam Murphy Preserving Multi-Dimensional Information: A Hypersphere Method for Parameter Space Analysis // Heliyon. 2024. Vol. 10. Iss. 7. P. 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28822>.
18. Галустов Г.Г., Мелешкин С.Н. Метод главных компонент в задачах снижения размерности признакового пространства биомедицинских данных с целью их визуализации // Цифровые методы и технологии: материалы междунар. науч. конф. (г. Таганрог, 01–30 ноября 2005 г.). Таганрог, 2005. С. 34–37.
19. Галустов Г.Г., Мелешкин С.Н. Метод формирования областей допустимых вероятностей в задачах классификации биомедицинских данных, визуализированных в двумерном признаковом пространстве // Цифровые методы и технологии: материалы междунар. науч. конф. (г. Таганрог, 01–30 ноября 2005 г.). Таганрог, 2005. С. 30–34. EDN: JLRLUQ.

20. Бадмаева И.А., Волкова Е.В. Технологии информационного моделирования объектов дорожного строительства // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 4. С. 521–528. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-521-528>. EDN: FXCTCH.
21. Пешков В.В., Кудрявцева В.А., Никишина О.В. Механизм комплексного развития территорий как базовый ресурс для развития регионального жилищного строительства // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 1. С. 10–19. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-10-19>. EDN: UINEZA.
22. Дмитриева Т.Л., Ященко В.П., Курышов И.А. BIM как средство сквозного проектирования, технологии возведения и эксплуатации // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 2. С. 252–261. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-252-261>. EDN: JVVYJYQ.
23. Сулейманова Л.А., Обайди А.А. Управление жизненным циклом здания на этапе эксплуатации с использованием моделей искусственных нейронных сетей и машинного обучения // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2024. № 3. С. 38–46. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2024-9-3-38-46>. EDN: DHJYVT.
24. Тиратурян А.Н., Елшами М.М. Определение состояния нежестких дорожных одежд с использованием моделей искусственных нейронных сетей // Современные задачи теоретической механики и динамики. Сб. науч. трудов по материалам II Междунар. конф. с участием молодых ученых и студентов (г. Москва, 21 апреля 2022 г.). М., 2022. С. 53–57. EDN: KEEYCS.

REFERENCES

1. Larin A.O., Seredin O.S., Kopylov A.V. Modified Criterion for Description of Data with A Hypersphere Taking into Account Outliers. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2020;10:231-239. (In Russ.). EDN: BFLGEK.
2. Meleshkin S.N. Method of Construction Own Field Class in The Form of a Hypersphere in Optimization Problems Separating Surface. *Natsional'naya Assotsiatsiya Uchenykh*. 2015;3-3:88-92. (In Russ.). EDN: YGFJKZ.
3. Saushev A.V. Optimization of Parameters of Complicated Electrotechnical Systems. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova*. 2013;2(21):35-44. (In Russ.). EDN: RUOHZL.
4. Zemlyanskii A.A., Snezhko V.L., Zainudinov S.Z. *Current Foundations of Digitalization*. Moscow: Sputnik+, 2019. 165 p. (In Russ.). EDN: FBHRVH.
5. Lapidus A.A., Loktev V.A. The Formation of Methodology for Improving the Life Cycle Management of Social Infrastructure Facilities. Components of Scientific and Technological Progress. 2023;7(85):30-34. (In Russ.). EDN: DDGQGB.
6. Lei Lei, Bing Wu, Xin Fang, Li Chen, Hao Wu, Wei Liu A Dynamic Anomaly Detection Method of Building Energy Consumption Based on Data Mining Technology. *Energy*. 2023;263:1-19. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125575>.
7. Vinogradov I.M. *Mathematical Encyclopedia*. Moscow: Soviet Encyclopedia, 1985. Vol. 5. 624 p. (In Russ.).
8. Neklyudov A.V. Some Nonstandart Proofs and Problems in The Analysis. *Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii*. 2013;5(17):1-11. (In Russ.). EDN: RHAKVT.
9. Huber G. Gamma Function Derivation of n-Sphere Volumes. *The American Mathematical Monthly*. 1982. Vol. 89. Iss. 5. P. 301–302. <https://doi.org/10.2307/2321716>.
10. Burakov S.V., Ziborov E.D., Sipachev V.S., Tyukacheva I.M. The calculation Metod of the N-Dimensional Sphere Area Using the Poisson Integral. *Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavтики*. 2017;2(13):265-267. (In Russ.). EDN: YQWFZN.
11. Sami I. Muslih, Om P. Agrawal A Scaling Method and Its Applications to Problems in Fractional Dimensional Space. *Journal of Mathematical Physics*. 2009;50(12):123501. <https://doi.org/10.1063/1.3263940>.
12. Rusanov V.S., Ryazantsev M.N. Modification of the Scalable Hypersphere Algorithm for Finding Reaction Paths on the Potential Energy Surface of Molecules. In: *Nedelya nauki SPBPU. Materialy nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem = SPBPU Science Week. Proceedings of The Scientific Conference with International Participation*. 13–19 November 2017, Saint Petersburg. Saint Petersburg; 2017. p. 284–286. (In Russ.). EDN: YCGHGR.
13. Qing Li, Guanzhong Wu, Hang Ni, Tao You Anomaly Detection with Dual-Channel Heterogeneous Graph Based On Hypersphere Learning. *Information Sciences*. 2024;681:1-17. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2024.121242>.
14. Serat J. Modeling and Optimization of Costs Associated with The Development of Clustered Organizational Management Structures in Construction Companies. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(2):348-355. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-2-348-355>. EDN: UEVQNI.

15. Dapeng Wang, Dequan Zhang, Yuan Meng, Meide Yang, Chuizhou Meng, Xu Han et al. AK-HRⁿ: An Efficient Adaptive Kriging-Based N-Hypersphere Rings Method for Structural Reliability Analysis. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 2023;414:1-24. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2023.116146>.
16. Hughes M., Goerigk M., Wright M. A Largest Empty Hypersphere Metaheuristic for Robust Optimisation with Implementation Uncertainty. *Computers and Operations Research*. 2019;103:64-80. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.10.013>.
17. Davey N.A.C., Chase J.G., Cong Zhou, Liam Murphy Preserving Multi-Dimensional Information: A Hypersphere Method for Parameter Space Analysis. *Heliyon*. 2024;10(7):1-16. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28822>.
18. Galustov G.G., Meleshkin S.N. Principal Component Method in Problems of Dimensionality Reduction of Feature Space of Biomedical Data for the Purpose of Their Visualization. In: *Tsifrovye metody i tekhnologii: materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii = Digital Methods and Technologies: Materials of The International Scientific Conference*. 01–30 November 2005, Taganrog. Taganrog; 2005. p. 34–37. (In Russ.).
19. Galustov G.G., Meleshkin S.N. Method for Forming Regions of Acceptable Probabilities in Problems of Classification of Biomedical Data Visualized in A Two-Dimensional Feature Space. In: *Tsifrovye metody i tekhnologii: materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii = Digital Methods and Technologies: Materials of The International Scientific Conference*. 01–30 November 2005, Taganrog. Taganrog; 2005. p. 30–34. (In Russ.). EDN: JLRLUQ.
20. Badmaeva I.A., Volkova E.V. Information Modelling of Road Facilities. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(4):521-528. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-521-528>. EDN: FXCTCH.
21. Peshkov V.V., Kudryavtseva V.A., Nikishina O.V. Mechanism of Integrated Territorial Development as A Basic Resource for Promoting Regional Housing Construction. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(1):10-19. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-10-19>. (In Russ.). EDN: UINEZA.
22. Dmitrieva T.L., Yashchenko V.P., Kuryshov I.A. BIM as A Means of End-To-End Design, Construction, And Operation. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(2):252-261. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-252-261>. EDN: JYJYQ.
23. Suleymanova L.A., Obaydi A.A. Building Life Cycle Management at The Operation Stage Using Artificial Neural Network Models and Machine Learning. *Bulletin of Belgorod State Technological University Named After V.G. Shukhov*. 2024;3:38-46. (In Russ.). <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2024-9-3-38-46>. EDN: DHJYVT.
24. Tiraturyan A.N., Elshami M.M. Determination of The Condition of Flexible Road Pavements Using Artificial Neural Network Models. In: *Sovremennye zadachi teoreticheskoi mekhaniki i dinamiki. Sbornik nauchnykh trudov po materialam II Mezhdunarodnoi konferentsii s uchastiem molodykh uchenykh i studentov = Modern Problems of Theoretical Mechanics and Dynamics. Collection of Scientific Papers Based On the Materials of The II International Conference with The Participation of Young Scientists and Students*. 21 April 2022, Moscow. Moscow; 2022. p. 53–57. (In Russ.). EDN: KEEYCS.

Информация об авторах

Боков Сергей Сергеевич,
старший преподаватель кафедры
здания и сооружения на транспорте,
Российский университет транспорта (МИИТ),
127994, г. Москва, ГСП-4, ул. Образцова, д. 9,
стр. 9, Россия,
✉ e-mail: bokov.roat@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2508-8622>
AuthorID: 1051214

Шматков Руслан Николаевич,
к.ф.-м.н., доцент,
доцент кафедры высшей математики,
Сибирский государственный университет
путей сообщения,
630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191,
Россия,
e-mail: srn-travel@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5348-282X>
Author ID: 14998

Information about the authors

Sergei S. Bokov,
Senior Lecturer of the Department of Buildings
and Structures in Transport,
Russian University of Transport (MIIT),
9, 9 Bldg., Obraztsova St., Moscow 127994, GSP-
4, Russia,
✉ e-mail: bokov.roat@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2508-8622>
AuthorID: 1051214

Ruslan N. Shmatkov,
Candidate of Physico-Mathematical Sciences,
Associate Professor, Associate Professor
of the Department of Higher Mathematics,
Siberian Transport University,
191 Dusy Kovalchuk St., 630049 Novosibirsk,
Russia,
e-mail: srn-travel@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5348-282X>
Author ID: 14998

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 09.01.2025.
Одобрена после рецензирования 27.01.2025.
Принята к публикации 28.01.2025.

Information about the article

The article was submitted 09.01.2025.
Approved after reviewing 27.01.2025.
Accepted for publication 28.01.2025.



Геотехнический мониторинг на этапах жизненного цикла объектов топливно-энергетического комплекса на многолетнемерзлых грунтах

А.В. Каблуков¹, Т.Л. Дмитриева^{2✉}, В.П. Яценко³

^{1,2,3}Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Аннотация. В статье отмечена специфика строительства производственных объектов нефтегазового комплекса в сложных климатических условиях в зонах распространения многолетнемерзлых грунтов. Показано, что строительство таких объектов приводит к резкой активизации экзогенных процессов на территории их установки. Выявлена проблема влияния этих процессов на безопасную эксплуатацию площадных и линейных объектов нефтегазовых месторождений. Обоснована важность и актуальность проведения геотехнического мониторинга как необходимого условия для обеспечения техносферной безопасности на всех этапах жизненного цикла объектов, возводимых на многолетнемерзлых грунтах. Дано определение геотехнического мониторинга в соответствии с нормативными документами. Представлен перечень нормативных документов, регламентирующих его проведение. Описаны основные этапы жизненного цикла оснований и фундаментов на многолетнемерзлых грунтах с указанием выполняемых работ по геотехническому мониторингу для каждого этапа. Обозначен перечень работ при проведении геотехнического мониторинга. Дано подробное описание видов наблюдений за состоянием объектов при геотехническом мониторинге. Рассмотрены принципы проведения анализа результатов мониторинга с последующим применением компенсационных мероприятий. Отдельно представлен вопрос автоматизации процесса геотехнического мониторинга, обозначены достоинства автоматизации, а также факторы, препятствующие ее внедрению. Определены перспективы дальнейшего развития методов геотехнического мониторинга.

Ключевые слова: геотехнический мониторинг, топливно-энергетический комплекс, сооружения, деформации сооружений, вечноммерзлые грунты, приборы контроля, автоматизация процессов

Для цитирования: Каблуков А.В., Дмитриева Т.Л., Яценко В.П. Геотехнический мониторинг на этапах жизненного цикла объектов топливно-энергетического комплекса на многолетнемерзлых грунтах // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 1. С. 73–84. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-73-84>. EDN: QOXENM.

Original article

Geotechnical monitoring during the life cycle of fuel and energy complex facilities on permafrost soils

Andrei V. Kablukov¹, Tatiana L. Dmitrieva^{2✉}, Vladimir P. Yashchenko³

^{1,2,3}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The present article considers the specifics of constructing oil and gas production facilities in harsh climatic conditions of permafrost soils. The construction of such facilities sharply intensifies exogenous processes in permafrost soils. Therefore, due to the negative effect of these processes on the safe operation of area and linear objects in oil and gas fields, we substantiate the importance and relevance of geotechnical monitoring as a necessary condition for ensuring the safety of technosphere during the life cycle of objects erected on permafrost soils. A definition of geotechnical monitoring is given in accordance with regulatory documents; a list of governing regulatory documents is provided. The main life cycle stages of permafrost bases and foundations are described indicating the geotechnical monitoring works

© Каблуков А.В., Дмитриева Т.Л., Яценко В.П., 2025

for each stage. In addition to the types of object state observations during geotechnical monitoring, we consider the principles of analyzing monitoring results and applying compensatory measures. The advantages of geotechnical monitoring automation, as well as the factors hindering its implementation are outlined; the prospects for further geotechnical monitoring development are identified.

Keywords: geotechnical monitoring, fuel and energy complex, structures, deformations of structures, permafrost soils, control devices, automation of processes

For citation: Kablukov A.V., Dmitrieva T.L., Yashchenko V.P. Geotechnical monitoring during the life cycle of fuel and energy complex facilities on permafrost soils. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(1):73-84. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-73-84>. EDN: QOXENM.

ВВЕДЕНИЕ

Добыча нефти и газа на территории России сопряжена с необходимостью производства строительных работ в сложных климатических условиях. Большое количество производственных объектов нефтегазового комплекса расположено в зоне распространения многолетне-мерзлых грунтов (ММГ), которая занимает более 60 % территории страны.

На рис. 1 представлено распределение зон мерзлоты. Установлено, что строительство площадных и линейных объектов для эксплуатации нефтегазовых месторождений приводит

к резкой активизации экзогенных процессов на территории площадки проведения работ. Разработка грунта, рытье траншей и котлованов, вырубка леса под коридоры для трубопроводов и высоковольтных линий являются основными потенциально опасными геотехническими процессами, которые при эксплуатации объектов могут оказать негативное влияние на их техносферную безопасность [26, 27]. По данной причине проведение эффективного геотехнического мониторинга (ГТМ) является одной из актуальных задач всей отрасли [1, 8, 29].



Рис. 1. Схема распространения мерзлоты по территории России
Fig. 1. Scheme of permafrost distribution across the territory of Russia

С помощью ГТМ на ММГ можно выявить начальные формы опасных природных и техногенных процессов, спрогнозировать возникновение аварий. Данные, полученные в ходе ГТМ, разнообразны. Их анализ способствует

пониманию механизмов взаимодействия объекта с вечной мерзлотой в различных геологических условиях, а также позволяет оценивать и предсказывать состояние объектов и окружающей среды [5, 23, 24].

МЕТОДЫ

Изменение геокриологического состояния ММГ возникает в результате таких естественных и техногенных факторов, как удаление и замена верхнего слоя грунта в ходе строительства объекта, изменение характера снежного покрова на отдельных участках, неравномерное распределение солнечной радиации, поверхностные и грунтовые воды. В результате таких воздействий меняется температурный и влажностный режим ММГ, что может привести к дальнейшему оттаиванию. Процесс оттаивания ММГ в основании фундамента оказывает существенное влияние на жизненный цикл объектов инфраструктуры топливно-энергетического комплекса и может стать причиной чрезвычайной ситуаций вплоть до разрушения объекта. Для исключения возникновения рисков подобных происшествий при реализации и эксплуатации объектов на ММГ в обязательном порядке требуется проведение ГТМ. Согласно определению, приведенному в СП 25.13330.2020 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах», ГТМ на ММГ представляет собой совокупность работ, основанных на полевых наблюдениях за состоянием грунтов основания (температурный режим), гидрогеологическими условиями и перемещениями конструкций фундаментов новых и реконструируемых зданий или сооружений. Цель ГТМ, согласно СП 305.1325800.2017 «Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве», заключается в обеспечении

безопасности строительных работ и надежности эксплуатации новых или реконструируемых объектов, включая здания и сооружения в окружающей застройке. Это достигается за счет своевременного обнаружения изменений в контролируемых параметрах конструкций и грунтов оснований, которые могут привести к ухудшению работоспособности объектов или их аварийному состоянию. ГТМ осуществляется в соответствии с требованиями ряда нормативно-правовых актов, таких как Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», СП 25.13330.2020 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах», СП 497.1325800.2020 «Основания и фундаменты зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах».

Правила эксплуатации», СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений», СП 305.1325800.2017 «Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве».

Организация и реализация ГТМ в процессе строительства и эксплуатации объектов необходима для сооружений, когда ведомственные нормы требуют наблюдения за основаниями и фундаментами, и для всех сооружений на ММГ. В таблице изложены ключевые этапы жизненного цикла оснований и фундаментов на ММГ, а также указаны работы по ГТМ, выполняемые на каждом из этапов.

Этапы жизненного цикла
Stages of the life cycle

Инженерные изыскания	Проектные работы	Строительство	Эксплуатация
– рекогносцировка площадки строительства на предмет наличия геокриологических процессов – полевые наблюдения за температурой грунтов – определение теплофизических характеристик грунтов – качественный геокриологический прогноз и рекомендации к строительству	– прогноз теплового состояния ММГ – разработка решений по температурной стабилизации грунтов – проект обустройства сетей ГТМ – разработка программы наблюдения по ГТМ – разработка проектных решений инженерной защиты	– наблюдения по ГТМ – анализ наблюдений и поверочные расчеты устойчивости – контроль возможности нагрузки оснований – внесений изменений в проектные решения – реализация мероприятий по компенсационным решениям	– наблюдения в рамках ГТМ – анализ наблюдений и поверхностный расчет устойчивости – формирование геотехнического прогноза – ведение геотехнических паспортов – разработка и реализация компенсационных мероприятий по результатам ГТМ

Выделяют следующие ключевые этапы работ по сопровождению процессов ГТМ:

1. Проектное сопровождение. К нему относят предпроектные исследования, проектно-

изыскательские работы, инженеринговые услуги, экспертизу проектных решений по ГТМ и корректировку проектной документации.

2. Строительные и монтажные работы. Они включают в себя сборку и установку элементов систем ГТМ, маркировку элементов в соответствии с проектной документацией, подготовку исполнительной документации и передачу на баланс обслуживающей организации.

3. Проведение полевых наблюдений по ГТМ связано с визуальным обследованием грунтовых оснований и фундаментов, первичным техническим осмотром элементов систем ГТМ, мониторингом изменений температурного режима грунтов, контролем устойчивости грунтовых реперов, наблюдением за деформациями оснований и фундаментов, тепловизионной диагностикой термостабилизаторов грунта, а также наблюдением за толщиной и плотностью снежного покрова и гидрогеологическими исследованиями.

4. Анализ результатов наблюдений. Исследуются проверочные расчеты несущей способности свайного основания, прогнозные теплотехнические расчеты грунтов основания, подготовка отчетной документации по видам наблюдений и оформление геотехнического заключения, составление паспорта ГТМ.

Сеть ГТМ проектируемых сооружений включает в себя:

- грунтовые реперы;
- деформационные марки;
- термометрические скважины;
- гидрогеологические скважины;
- точки снегомерной съемки.

Грунтовые реперы формируют базовую геодезическую сеть, которая используется для оценки деформаций как самих сооружений, так и грунтов, на которых они расположены, с помощью деформационных марок.

Ключевыми параметрами, подлежащими контролю в процессе ГТМ сооружений на стадии строительства, являются температура грунта, уровень подземных вод, деформация, температура охлаждающих устройств и воздуха в проветриваемом подполье, высота и плотность снежного покрова, работоспособность искусственной вентиляции, эффективность работы охлаждающих систем, функционирующих сезонно или круглогодично и плотность грунтов, используемых в насыпях, при замене грунтов в выемках и при намыве территории. Геотехнические наблюдения в процессе строительства должны включать в себя следующие аспекты:

– визуальный осмотр элементов сетей для проверки их состояния и соответствия проектной документации;

– обследование грунтовых оснований и фундаментов;

– оценка устойчивости опорной сети (в ходе нивелирования деформационных марок);

– мониторинг деформаций оснований и фундаментов;

– термометрические измерения;

– гидрогеологические исследования;

– тепловизионная диагностика термостабилизаторов грунта;

– контроль за глубиной и плотностью снежного покрова.

Рассмотрим подробнее каждый тип геотехнических наблюдений.

Ключевыми элементами термометрических наблюдений являются термометрическая скважина и термометрическая коса.

Термометрическая скважина представляет собой специально подготовленное отверстие, предназначенное для измерения температуры грунта с помощью гирлянды температурных датчиков (рис. 2).

Этот набор датчиков температуры закреплен несущем шнуре в соответствии с глубиной их размещения.

Основными задачами термометрического наблюдения являются:

– получение точных данных о температуре мерзлых, промерзающих и оттаивающих грунтов для использования в теплотехнических расчетах при проектировании;

– оценка и прогнозирование устойчивости осваиваемой территории;

– определение глубины заложения и выбор типа фундаментов для зданий и сооружений, а также оценка их несущей способности;

– мониторинг и оценка изменений в тепловом режиме грунтов, возникающих в результате строительства и эксплуатации зданий и сооружений.

Визуально-инструментальные методы мониторинга включают в себя как визуальные наблюдения (осмотр объекта), так и инструментальные измерения (фиксация дефектов и повреждений в конструкциях), а также возможность выявления опасных геокриологических процессов, таких как криогенное пучение, термокарст, оползни и оседание поверхности при оттаивании.

В результате проведения такого мониторинга составляются ведомости и карты дефектов.

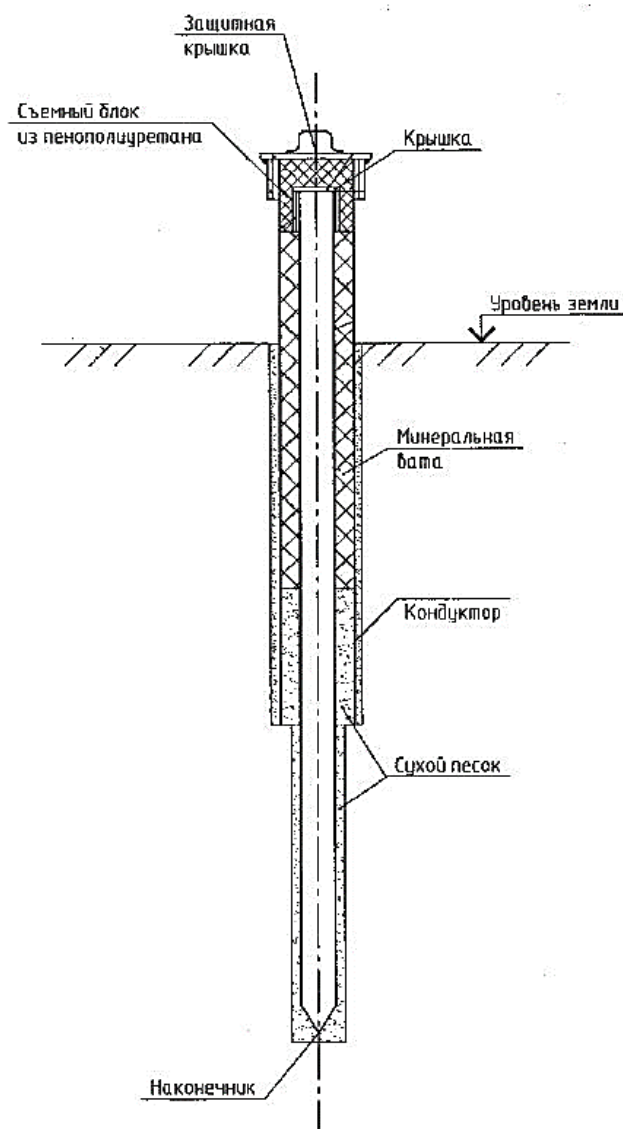


Рис. 2. Схема устройства термометрической скважины
Fig. 2. Scheme of the device of a thermometric well

Текущий осмотр проводится для выявления первичных признаков деформаций и повреждений фундаментов и охлаждающих устройств, а также для контроля соблюдения условий эксплуатации сооружений. Он осуществляется визуально с использованием фотофиксации выявленных нарушений и деформаций.

По результатам текущего осмотра заполняется журнал наблюдений и, при необходимости, ведомость дефектов. Контрольный осмотр должен проводиться не реже одного раза в год.

В работы контрольного осмотра входят:

- мероприятия, предусмотренные текущим осмотром;
- измерения осадки и наклона фундамента;
- измерения температуры воздуха в подпольном пространстве и грунтов основания, а

также подготовка ведомости дефектов фундаментных конструкций. Геодезические наблюдения осуществляются с использованием нивелиров, теодолитов, тахеометров, сканеров (включая оптические, электронные, лазерные и др.) и навигационных спутниковых систем [9].

Отслеживаются вертикальные и горизонтальные смещения на поверхности грунта, а также сдвиги между слоями. На основе такого мониторинга выявляются некоторые обобщения и закономерности, с помощью которых можно оценить вероятность наступления критических деформаций. При тепловизионной диагностике результаты визуального контроля конденсаторов термостабилизаторов, а также данные тепловизионного обследования и измерения температур грунтов фиксируются в специальном журнале (рис. 3).



Рис. 3. Автономная система горизонтальной термостабилизации
Fig. 3. Autonomous horizontal thermal stabilization system

Контроль работоспособности термостабилизаторов осуществляется в два этапа – визуальный контроль и инструментальный тепловизионный контроль.

Цель гидрогеологических методов заключается в мониторинге изменений уровня подземных вод или пьезометрических напоров для своевременного принятия мер, направленных на предотвращение негативного влияния этих изменений на сооружения и коммуникации,

расположенные вблизи строительной площадки, а также на само строящееся сооружение, включая риск всплытия объекта строительства.

Замеры уровня подземных вод в наблюдательных скважинах проводятся с помощью гидрогеологической рулетки, электроуровнемера или автоматического регистратора с электронной памятью (рис. 4). Точность замеров не должна превышать 3 см.

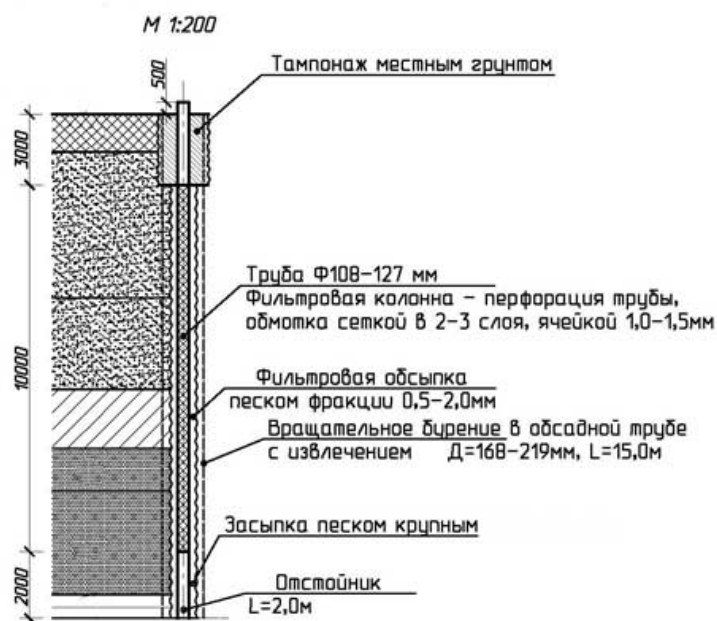


Рис. 4. Схема устройства гидрогеологической скважины
Fig. 4. Scheme of the hydrogeological well device

При наблюдении за изменениями уровней (напоров) нескольких водоносных горизонтов, на которые влияет новое строительство, необходимо организовать кусты наблюдательных скважин, где каждая скважина будет обслуживать соответствующий горизонт.

В процессе наблюдений в термометрических скважинах за изменениями температурного режима грунтов оснований фиксируются следующие параметры:

- температуры грунтов на различных глубинах;
- глубина сезонного промерзания (или оттаивания) грунтов, а также положение кровли мерзлых грунтов или новообразований;
- температуры грунтов на уровне подошвы фундаментов и средние значения температур по глубине их заложения;
- актуальные значения несущей способности грунтов.

Длительность мониторинга определяется в зависимости от выбранного принципа строительства. Первый принцип подразумевает наблюдение на протяжении всего срока эксплуатации, второй — на десять лет с учетом оттаивания или на пять лет с предварительным оттаиванием.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ результатов мониторинга включает в себя сравнение измеренных значений контролируемых параметров с предельными значениями и скоростями их изменений, а также определение необходимости внедрения корректирующих мер. К таким мерам могут относиться изменение технологии выполнения работ или применение специальных геотехнических мероприятий.

По итогам анализа полевых наблюдений назначаются компенсационные мероприятия, целью которых является обеспечение механической безопасности объекта на весь период эксплуатации. Ответственные за организацию и проведение мониторинга сотрудники составляют акты, в которых фиксируются выявленные дефекты и рекомендации по их устранению. Эти акты передаются в эксплуатационную службу для устранения дефектов, после чего проводятся повторные наблюдения.

Компенсационные мероприятия обычно направлены на следующие цели:

- изменение эксплуатационных параметров объектов;
- мониторинг динамики состояния оснований и фундаментов, а также геокриологических процессов;
- предотвращение возникновения опасных геокриологических явлений, таких как водная и водно-тепловая эрозия, солифлюкация и др.;

– стабилизацию теплового режима грунтов, на которых расположены объекты;

– корректировку положения фундаментов объектов в соответствии с проектными требованиями;

– предотвращение деформаций конструкций инженерных сооружений и оборудования;

– устранение последствий негативных экзогенных процессов и деформаций грунтов оснований, фундаментов и конструкций инженерных сооружений.

Стоит отметить, что есть проблемы, связанные с передачей и анализом данных ГТМ. В настоящее время процесс накопления и анализа данных ГТМ производственных объектов на всех стадиях жизненного цикла зданий и сооружений не автоматизирован и выполняется в ручном режиме. Ручной сбор показаний с огромного количества элементов геотехнической сети с последующей ручной оцифровкой данных измерений из-за их разнородности является крайне трудоемким и приводит к низкой скорости принятия управленческих решений по объектам на ММГ. Вопросом автоматизации процесса ГТМ активно занимаются как российские ученые, так и их западные коллеги [2, 6, 11, 14–19].

В крупных российских нефтегазовых компаниях ведутся активные работы по разработке программных комплексов, позволяющих автоматизировать процесс накопления и анализа данных ГТМ для повышения эффективности выполнения процесса ГТМ путем сокращения непроизводительных и дублирующих операций, операций, выполняемых «вручную», оптимизации информационного взаимодействия между проектными институтами и добывающими компаниями, своевременного выявления объектов, на которых превышены критерии надежности геотехнической сети, либо прогнозируется их превышение, в целях обеспечения механической надежности зданий и сооружений в соответствии с требованиями Федерального закона от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», а также СП 25.13330.2012 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах». Это также поможет с ведением архивов по объектам ГТМ без ограничения сроков давности, позволит минимизировать риск ошибок из-за человеческого фактора при формировании геотехнических заключений о возможности эксплуатации сооружений за счет применения современных технологий обработки и анализа данных (нейронные сети), а также сможет

предоставить оперативный доступ к актуальным данным ГТМ и сократить количество задействованного персонала.

На данный момент на рынке представлены автоматизированные системы измерения таких контролируемых параметров, как:

- осадки сооружений;
- температуры грунта;
- уровень и химический состав грунтовых вод;
- прогноз геотехнического состояния объекта.

Основными препятствиями для широкого внедрения автоматизированных систем ГТМ являются недостатки в нормативной базе, отсутствие доступных результатов их применения и отсутствие однозначного подтверждения точности и классов измерений в соответствии с ГОСТ и СП.

Ключевые направления для решения проблем внедрения систем автоматизированного мониторинга включают:

1. Улучшение нормативной базы для промышленных объектов, включая указание на широкий спектр аналогов и четкое установление взаимосвязей между различными нормативными документами, такими как ГОСТ 24846-2019 «Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений» и СП 25.13330.2020 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах».

2. Проведение опытно-промышленных испытаний с последующей доработкой и повыше-

нием точности приборов, а также популяризацию автоматизированных методов и систем среди компаний нефтегазового сектора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение, отметим, что ГТМ зданий и сооружений в сфере топливно-энергетического комплекса России, расположенных на ММГ, является необходимым условием для обеспечения техносферной безопасности на всех этапах жизненного цикла объектов на ММГ.

Мониторинг предоставляет возможность своевременно обнаруживать деформации различных конструкций и грунтов, а также организовывать работы с учетом состояния окружающей застройки, расположения коммуникационных сетей и природных и техногенных факторов.

Перспективы дальнейшего развития ГТМ могут быть связаны со следующим:

1. Создание и внедрение программного обеспечения, которое позволит автоматизировать процесс сбора и анализа данных мониторинга;

2. Обмен данными о результатах ГТМ между компаниями топливно-энергетического комплекса России для составления общей базы мониторинга изменения состояния ММГ [12];

3. Создание системы государственного межведомственного мониторинга за состоянием криолитозоны с целью формирования дальнейших прогнозов и разработки компенсационных мероприятий [12].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Власова А.Ю., Голофаст С.Л. Амплитудно-частотный анализ данных геотехнического мониторинга магистрального трубопровода // Наука и техника в газовой промышленности. 2017. № 1 (69). С. 88–99. EDN: ZULOMR.
2. Макарычева Е.М., Ибрагимов Э.Р., Кузнецов Т.И., Шуршин К.Ю. Применение воздушного лазерного сканирования для геотехнического мониторинга объектов магистрального трубопровода // Наука и технология трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2019. Т. 9. № 1. С. 21–31. <https://doi.org/10.28999/2541-9595-2019-9-1-21-31>. EDN: YZFJHF.
3. Мирсаяпов И.Т., Королева И.В. Особенности геотехнического мониторинга уникальных зданий и сооружений // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 4 (26). С. 147–154. EDN: RSTDXT.
4. Гаврилов А.Н., Грязнова Е.М. Экспресс методы в геотехническом мониторинге // Вестник МГСУ. 2010. № 4-5. С. 61–66. EDN: RTUJKJ.
5. Осокин А.И., Татаринцов С.В., Макарова Е.В. Система геотехнического мониторинга как средство обеспечения безопасности строительства // Жилищное строительство. 2014. № 9. С. 10–18. EDN: SMVCMТ.
6. Смирнов В.В., Земенков Ю.Д., Торопов С.Ю., Сероштанов И.В., Никифоров В.Н. Перспективы развития систем геотехнического мониторинга // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № S4. С. 191–198. EDN: SXLUPR.
7. Карпов А.А., Мальцев А.В. Актуальность проведения геотехнического мониторинга в строительстве // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 70-й юбилейной Всеросс. науч.-техн. конф. по итогам НИР 2012 (г. Самара, 15–19 апреля 2013 г.). Самара, 2013. С. 361–364. EDN: TLLHGF.

8. Реутских Н.В., М.А. Бережной М.А., Дуденко И.А. Геотехнический мониторинг для магистральных трубопроводов в различных типах многолетнемерзлых пород // Научный журнал российского газового сообщества. 2016. № 2. С. 22–26. EDN: WBMKHR.
9. Новиков Ю.А., Краев А.Н. Геодезические наблюдения за осадками здания в рамках проведения геотехнического мониторинга // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. 2019. Т. 24. № 1. С. 28–41. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2019-24-1-28-41>. EDN: ZCHEFF.
10. Иванова А.В., Соловьева Т.А., Бугакова Т.Ю. Геотехнический мониторинг – основа жизненного цикла зданий и сооружений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. 2019. Т. 6. № 1. С. 214–220. <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2019-6-1-214-220>. EDN: SSWSAM.
11. Верещагин А.Ю., Николенко С.Д., Сазонова С.Д. Информационная система геотехнического мониторинга строительных объектов // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2021. № 2 (24). С. 33–39. EDN: ZGOEUV.
12. Мельников В.П., Осипов В.И., Брушков А.В., Алексеев А.Г., Багина С.В., Бердников Н.М. и др. Развитие геокриологического мониторинга природных и технических объектов в криолитозоне Российской Федерации на основе систем геотехнического мониторинга топливно-энергетического комплекса // Криосфера Земли. 2022. Т. 26. № 4. С. 3–18. <https://doi.org/10.15372/KZ20220401>. EDN: TMLZFZ.
13. Шашкин А.Г. Основы геотехнического мониторинга // Инженерные изыскания. 2013. № 10-11. С. 18–21. EDN: RMTVBT.
14. Ji Xiaofu Ma, Huaifu Pei, Honghu Zhu, Bin Shi, Jianhua Yin A Review of Previous Studies on The Applications of Fiber Optic Sensing Technologies in Geotechnical Monitoring // Rock Mechanics Bulletin. 2023. Vol. 2. Iss. 1. P. 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.rockmb.2022.100021>.
15. Lebedev M. Automated Systems as a Part of Geotechnical Monitoring in Construction and Operation of Transport Tunnels // Procedia Engineering. 2016. Vol. 165. P. 448–454. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.719>.
16. Hongkui Gong, Kizil M.S., Zhongwei Chen, Moe Amanzadeh, Ben Yang, Aminossadati S.M. Advances in Fibre Optic Based Geotechnical Monitoring Systems for Underground Excavations // International Journal of Mining Science and Technology. 2019. Vol. 29. Iss. 2. P. 229–238. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.06.007>.
17. Pies M., Velicka J., Hajovsky R. Advanced IoT-Based Wireless Sensors for Remote Geotechnical Monitoring and Structural Diagnostics // IFAC-PapersOnLine. 2024. Vol. 58. Iss. 9. P. 193–198. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.07.395>.
18. Alekseev A., Shilova L., Mefedov E. An Approach for Automatization of Geotechnical Monitoring in Cryolithozone // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1083. P. 1–7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1083/1/012080>.
19. Di Gennaro L., Damiano E., De Cristofaro M., Netti N., Olivares L., Zona R. et al. An Innovative Geotechnical and Structural Monitoring System Based On the Use of NSHT // Smart Materials and Structures. 2022. Vol. 31. Iss. 6. P. 1–12. <https://doi.org/10.1088/1361-665X/ac5fc6>.
20. Dorofeev N.V., Grecheneva A.V., Romanov R.V., Pankina E.S. The Selection of Parameters and Control Points in The Geotechnical Monitoring System // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 873. P. 1–9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/873/1/012030>.
21. Dorofeev N.V., Pankina E.S. Decision Making in Geotechnical Monitoring Systems // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 988. P. 1–6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/988/3/032049>.
22. Gairabekov I.G., Kaimov Sh. S-E., Mishieva A.T., Ibragimova E.I., Gairabekov M-B. I., Gayrabekova A.I. Geotechnical Monitoring // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 905. P. 1–11. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/905/1/012026>.
23. Olteanu A.K., Tomsa C., Malancu T. Geotechnical Monitoring - Reducing The Risks Related to The Construction of Infrastructure // Romanian Journal of Transport Infrastructure. 2023. Vol. 12. Iss. 2. P. 1–12. <https://doi.org/10.2478/rjti-2023-0014>.
24. Gryaznova E. Geotechnical Monitoring to Ensure Reliability of Construction and Operation of Buildings and Structures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 365. Iss. 5. P. 1–8. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/365/5/052014>.
25. Gryaznova E. Piled Raft Foundation Assessment Based On Geotechnical Monitoring Results // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1425. P. 1–7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1425/1/012060>.
26. Kudryavtsev S.A., Valtseva T.Yu., Gavrilov I.I., Kotenko Zh.I., Sokolova N. Geotechnical Monitoring Bearing Capacity Boring Pile Foundations of Bridge During Permafrost Degradation // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1928. P. 1–8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1928/1/012057>.
27. Potapov A.I., Shikhov A.I., Dunaeva E.N. Geotechnical Monitoring of Frozen Soils: Problems and Possible Solutions // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1064. P. 1–6. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1064/1/012038>.
28. Shakurova A.F., Shakurova A.F. Use of Geotechnical Monitoring Data in The Design of the Serginsky Field Development // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1021. P. 1–9.

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1021/1/012013>.

29. Struchkova G., Kapitonova T., Efremov P. Geotechnical Monitoring of Pipeline Systems Operating Under Conditions of Permafrost (Yakutia) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 666. P. 1–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/3/032088>.

REFERENCES

1. Vladova A.Yu., Golofast S.L. Amplitude-Frequency Analysis of Geotechnical Monitoring Data of a Main Pipeline. *Nauka i tekhnika v gazovoi promyshlennosti*. 2017;1(69):88-99. (In Russ.). EDN: ZULOMR.
2. Makarycheva E.M., Ibragimov E.R., Kuznetsov T.I., Shurshin K.Y. Using The Airborne Laser Scanning Method for Geotechnical Monitoring of Pipeline System Facilities. *Science and Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation*. 2019;9(1):21-31. (In Russ.). <https://doi.org/10.28999/2541-9595-2019-9-1-21-31>. EDN: YZFJHF.
3. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Geotechnical Monitoring Features of Unique Buildings and Structures. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2013;4(26):147-154. (In Russ.). EDN: RSTDXT.
4. Gavrilov A.N., Gryaznova E.M. Express Methods in Geotechnical Monitoring. *Monthly Journal on Construction and Architecture*. 2010;4-5:61-66. (In Russ.). EDN: RTUJKJ.
5. Osokin A.I., Tatarinov S.V., Denisova O.O., Makarova E.V. Geotechnical Monitoring System as a Tool for Ensuring the Safety of Construction. *Housing Construction*. 2014;9:10-18. (In Russ.). EDN: SMVCMT.
6. Smirnov V.V., Zemenkov Y.D., Toropov S.Y., Seroshtanov I.V., Nikiforov V.N. Prospects of Development of Geotechnical Monitoring Systems. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2014;S4:191-198. (In Russ.). EDN: SXLUPR.
7. Karpov A.A., Maltsev A.V. Relevance of Geotechnical Monitoring in Construction. In: *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture: materialy 70-i yubileinoi Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii po itogam NIR 2012 = Traditions and Innovations in Construction and Architecture: Materials of The 70th Anniversary All-Russian Scientific and Technical Conference On the Results of NIR 2012*. 15–19 April 2013, Samara. Samara; 2013. p. 361–364. (In Russ.). EDN: TLLHGF.
8. Reutskikh N.V., Berezhnoy M.A., Dudenko I.A. Geotechnical Monitoring for Main Pipelines in Various Types of Permafrost Soils. *Nauchnyi zhurnal rossiiskogo gazovogo soobshchestva*. 2016;2:22-26. (In Russ.). EDN: WBMKHR.
9. Novikov Yu.A., Kraev A.N. Geodetic Overseeing by Building Settlements Within Carrying Out Geotechnical Monitoring. *Vestnik of the Siberian State University of Geosystems and Technologies*. 2019;24(1):28-41. (In Russ.). <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2019-24-1-28-41>. EDN: ZCHEFF.
10. Ivanova A.V., Solovieva T.A., Bugakova T.Yu. Geotechnical Monitoring of Buildings and Structures for The Control and Construction Safety. *Interkspoz GEO-Sibir*. 2019;6(1):214-220. (In Russ.). <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2019-6-1-214-220>. EDN: SSWSAM.
11. Vereshchagin A.Y., Nikolenko S.D., Sazonova S.A. Information System for Geotechnical Monitoring of Construction Objects. *Informatsionnye tekhnologii v stroitel'nykh, sotsial'nykh i ekonomicheskikh sistemakh*. 2021;2(24):33-39. (In Russ.). EDN: ZGOEVV.
12. Melnikov V.P., Osipov V.I., Brouchkov A.V., Alekseev A.G., Badina S.V., Berdnikov N.M. et al. Development of Geocryological Monitoring of Natural and Technical Facilities in The Regions of the Russian Federation Based On Geotechnical Monitoring Systems of Fuel and Energy Sector. *Earth's Cryosphere*. 2022;26(4):3-18. (In Russ.). <https://doi.org/10.15372/KZ20220401>. EDN: TMLZFZ.
13. Shashkin A.G. The Basics of Geotechnical Monitoring. *Inzhenernye izyskaniya*. 2013;10-11:18-21. (In Russ.). EDN: RMTVBT.
14. Jiaxiao Ma, Huafu Pei, Honghu Zhu, Bin Shi, Jianhua Yin A Review of Previous Studies on The Applications of Fiber Optic Sensing Technologies in Geotechnical Monitoring. *Rock Mechanics Bulletin*. 2023;2(1):1-16. <https://doi.org/10.1016/j.rockmb.2022.100021>.
15. Lebedev M. Automated Systems as a Part of Geotechnical Monitoring in Construction and Operation of Transport Tunnels. *Procedia Engineering*. 2016;165:448-454. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.719>.
16. Hongkui Gong, Kizil M.S., Zhongwei Chen, Moe Amanzadeh, Ben Yang, Aminossadati S.M. Advances in Fibre Optic Based Geotechnical Monitoring Systems for Underground Excavations. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019;29(2):229-238. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.06.007>.
17. Pies M., Velicka J., Hajovsky R. Advanced IoT-Based Wireless Sensors for Remote Geotechnical Monitoring and Structural Diagnostics. *IFAC-PapersOnLine*. 2024;58(9):193-198. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.07.395>.
18. Alekseev A., Shilova L., Mefedov E. An Approach for Automatization of Geotechnical Monitoring in Cryolithozone. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021;1083:1-7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1083/1/012080>.

19. Di Gennaro L., Damiano E., De Cristofaro M., Netti N., Olivares L., Zona R. et al. An Innovative Geotechnical and Structural Monitoring System Based On the Use of NSHT. *Smart Materials and Structures*. 2022;31(6):1-12. <https://doi.org/10.1088/1361-665X/ac5fc6>.
20. Dorofeev N.V., Grecheneva A.V., Romanov R.V., Pankina E.S. The Selection of Parameters and Control Points in The Geotechnical Monitoring System. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;873:1-9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/873/1/012030>.
21. Dorofeev N.V., Pankina E.S. Decision Making in Geotechnical Monitoring Systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022;988:1-6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/988/3/032049>.
22. Gairabekov I.G., Kaimov Sh. S-E., Mishieva A.T., Ibragimova E.I., Gairabekov M-B. I., Gayrabekova A.I. Geotechnical Monitoring. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;905:1-11. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/905/1/012026>.
23. Olteanu A.K., Tomsa C., Malancu T. Geotechnical Monitoring - Reducing The Risks Related to The Construction of Infrastructure. *Romanian Journal of Transport Infrastructure*. 2023;12(2):1-12. <https://doi.org/10.2478/rjti-2023-0014>.
24. Gryaznova E. Geotechnical Monitoring to Ensure Reliability of Construction and Operation of Buildings and Structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018;365(5):1-8. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/365/5/052014>.
25. Gryaznova E. Piled Raft Foundation Assessment Based On Geotechnical Monitoring Results. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019;1425:1-7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1425/1/012060>.
26. Kudryavtsev S.A., Valtseva T.Yu., Gavrilov I.I., Kotenko Zh.I., Sokolova N. Geotechnical Monitoring Bearing Capacity Boring Pile Foundations of Bridge During Permafrost Degradation. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;1928:1-8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1928/1/012057>.
27. Potapov A.I., Shikhov A.I., Dunaeva E.N. Geotechnical Monitoring of Frozen Soils: Problems and Possible Solutions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021;1064:1-6. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1064/1/012038>.
28. Shakurova A.F., Shakurova A.F. Use of Geotechnical Monitoring Data in The Design of the Serginsky Field Development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022;1021:1-9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1021/1/012013>.
29. Struchkova G., Kapitonova T., Efremov P. Geotechnical Monitoring of Pipeline Systems Operating Under Conditions of Permafrost (Yakutia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;666:1-8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/3/032088>.

Информация об авторах

Каблуков Андрей Валерьевич,
аспирант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: andrewkablukov@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0002-1152-0629>

Дмитриева Татьяна Львовна,
д.т.н., доцент, заведующий кафедрой
механики и сопротивления материалов,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉e-mail: dmitrievat@list.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4622-9025>
Author ID: 312501

Ященко Владимир Петрович,
к.т.н., доцент, доцент кафедры механики
и сопротивления материалов,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: vp_yashenko@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3800-0570>
Author ID: 179786

Information about the authors

Andrei V. Kablukov,
Postgraduate Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
e-mail: andrewkablukov@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0002-1152-0629>

Tatiana L. Dmitrieva,
Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Head of the Department of Mechanics
and Resistance of Materials,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉e-mail: dmitrievat@list.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4622-9025>
Author ID: 312501

Vladimir P. Yashchenko,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Mechanics and Strength of Materials,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: vp_yashenko@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3800-0570>
Author ID: 179786

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 10.01.2025.
Одобрена после рецензирования 20.01.2025.
Принята к публикации 21.01.2025.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Information about the article

The article was submitted 10.01.2025.
Approved after reviewing 20.01.2025.
Accepted for publication 21.01.2025.



Анализ эффективности реализации девелоперского проекта в контексте интеграции ESG-факторов

М.В. Матвеева¹, О.А. Безруких^{2✉}, В.А. Изнова³, А.Н. Балышева⁴

^{1,2,3}Иркутский национальный исследовательский университет, Иркутск, Россия

⁴Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

Аннотация. Актуальная повестка стратегического развития строительной отрасли требует не отдельного применения и соблюдения экологического законодательства, а включает в себя комплексное внедрения системы ESG (Environmental, Social, and Governance) на всех этапах жизненного цикла девелоперского проекта. Это становится актуальным в связи с растущим вниманием общества к вопросам экологии, социальной ответственности и эффективного управления. Включение ESG-концепции в актуальную повестку девелоперского бизнеса России обусловлено направленностью концепции стимулировать существенные, качественные, экономические и технологические преобразования во всех бизнес-процессах застройщика, обеспечивая постоянное соблюдение целей устойчивого развития на протяжении всего жизненного цикла проекта. Придерживающееся данной концепции обеспечат своему бизнесу в стратегическом позиционировании экономический и технологический суверенитет. На основании этого в статье проведена ESG-оценка компании ООО СЗ «КСИ-Строй» с применением методики АКРА. После полученных результатов оценки, авторами были сформулированы рекомендации по внедрению концепции в бизнес-процессы девелоперских компаний. С целью определения экономической эффективности внедрения ESG-концепции была проведена оценка ее влияния на стоимость девелоперских проектов. Результаты доказали целесообразность применения ESG-концепции на всех этапах жизненного цикла девелоперского проекта, отраженную в увеличении будущей стоимости проекта.

Ключевые слова: устойчивое развитие, социальная ответственность, энергоэффективность, ESG-факторы, девелоперская компания

Для цитирования: Матвеева М.В., Безруких О.А., Изнова В.А., Балышева А.Н. Анализ эффективности реализации девелоперского проекта в контексте интеграции ESG-факторов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 1. С. 85–96. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-85-96>. EDN: GXLNMV.

Original article

Performance analysis of a development project through the integration of ESG factors

Maria V. Matveeva¹, Olga A. Bezrukih^{2✉}, Veronika A. Iznova³, Anna N. Balysheva⁴

^{1,2,3}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

⁴Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Abstract. The current agenda of strategic development of the construction industry involves the comprehensive implementation of ESG (Environmental, Social, and Governance) systems at all stages of the life cycle of a development project, rather than a separate application and compliance with environmental legislation. This is increasingly important due to the growing public attention to environmental issues, social responsibility, and effective management. The ESG concept is aimed at stimulating substantial, qualitative, economic, and technological transformations in all business processes of the developer, thus ensuring continuous compliance with sustainable development goals throughout the entire life cycle of the project. Following this concept, the development business in Russia

will be provided with economic and technological sovereignty in strategic positioning. Accordingly, this paper performs an ESG assessment of the ООО SZ “КСИ Строй” company using the ACRA methodology. On the basis of the results obtained, recommendations on implementing the ESG concept in the business processes of developer companies are provided. The economic efficiency of the ESG concept implementation was assessed in order to determine its impact on the cost of development projects. The results prove the expediency of applying the ESG concept at all stages of the life cycle of development projects, which will increase the future value of the project.

Keywords: sustainable development, social responsibility, energy efficiency, ESG factors, development company

For citation: Matveeva M.V., Bezrukikh O.A., Iznova V.A., Balysheva A.N. Performance analysis of a development project through the integration of ESG factors. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(1):85-96. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-85-96>. EDN: GXLNMV.

ВВЕДЕНИЕ

Девелоперский бизнес в последние пять лет столкнулся с рядом вызовов внешней среды, к которым можно отнести рост себестоимости строительства, увеличение ставки кредитования, сдерживание развития ипотечных программ и рядом других проблемных аспектов, которые требуют формирования стратегии адаптации, анализ потенциалов роста, а также выбор актуальных инструментов по изменению ключевых бизнес-процессов компании. Одним из таких инструментов является интеграция ESG-факторов (Environmental, Social and Governance) в стратегию компании в целом и в частности относительно отдельных процессов жизненного цикла девелоперского проекта [1]. На сегодняшний день фокус управленческих действий ведущих девелоперских компаний России направлен не только на анализ результатов финансовой деятельности (EBITDA, рентабельность собственного капитала, финансовая автономность и др.), но и сконцентрирован на соблюдении принципов социальной, экологической ответственности и обеспечении качества операционного и стратегического менеджмента.

Актуальность данного исследования обусловлена востребованностью со стороны девелоперских компаний включения ESG-принципов в жизненный цикл строительного проекта.

Целью данного исследования является оценка ESG-рейтинга компании ООО СЗ «КСИ-Строй» и анализ мер, предпринятых строительной компанией для учета экологических, социальных и управленческих факторов при осуществлении своей деятельности, в том числе при строительстве жилого комплекса «Пятый Элемент» в г. Иркутске.

МЕТОДЫ

Вопросы исследования ESG-концепции в

целом и отдельных компонентов концепции рассматриваются российскими и зарубежными исследователями [2–7]. В исследованиях обосновывается необходимость включения ESG-концепции в бизнес-процессы компаний, рассматриваются глобальные тенденции по переходу компаний реального сектора экономики на устойчивое развитие и доказывается эффективность перехода на рассматриваемую концепцию, что подтверждается ростом стоимости бизнеса и в целом финансовой отдачей для фирмы с точки зрения не только стоимости, но и прибыльности. При этом необходимо отметить, что большая часть научных исследований фокусируется на таких отраслях как геология и разведка недр, транспорт, промышленность, финансы и кредит. Строительная отрасль находится на начальном этапе применения в своей деятельности принципов ESG-концепции, что подтверждает необходимость проведения исследования рейтинга компаний данной отрасли, с целью анализа результирующих показателей и выстраивания стратегии по применению принципов устойчивого развития в деятельности девелоперского бизнеса.

Для проведения оценки деятельности ООО СЗ «КСИ-Строй» на основе концепции устойчивого развития в статье использована методология компании АКРА [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Экологическая повестка выходит на первый план на уровне органов власти, бизнеса, населения и была актуальной в России задолго до появления концепции ESG, а решение экологических проблем было и остается одной из национальных целей.

В целом, ESG-тематика сформировалась более десяти лет, в особенности на территории Запада в ответ на ухудшающееся состояние окружающей среды. В 1980-х гг. появилась

теория устойчивого развития, которая раскрывает появление ESG-критериев и нескольких систем экологической сертификации зданий [9]. Термин ESG и его значение был представлен в научной работе в 2004 г. 20 финансовыми учреждениями в ответ на призыв Генерального секретаря Организации Объединенных Наций Кофи Анана. Включение принципов ESG-концепции в бизнес-процессы девелоперской компании требует кардинального пересмотра структуры отдельных операционных действий и включение оценок экологических, социальных и управленческих рисков в стратегию компании. Важным терминологическим аспектом является тот факт, что аббревиатура ESG часто используется как обобщенное описание, охватывающее инвестиционные стратегии, которые включают в себя в разной степени элементы как социальных, так и экологических целей [10]. Интеграция принципов ESG в корпоративные бизнес-процессы повышает организационную устойчивость к спектру факторов риска. Эмпирические данные свидетельствуют о том, что инвесторы ощущают корреляцию между соблюдением принципов ESG и снижением риска, специфичного для конкретной фирмы. Кроме того, принятие принципов ESG облегчает доступ к более рентабельному инвестиционному капиталу. Эти наблюдения подтверждаются научными исследованиями, при этом, отмечается повышенная стабильность фирм, демонстрирующих превосходные показатели ESG в периоды экономической нестабильности и системного кризиса. Это говорит о том, что интеграция ESG может функционировать как механизм смягчения подверженности

системному риску и повышения долгосрочной финансовой устойчивости компании [11]. Кроме того, исследователями доказано о наличии корреляции между ESG-рейтингом компании и ее стоимостью.

Данное положение прослеживается в следующих двух аспектах. Пересмотр работ в рамках жизненного цикла девелоперского проекта, с точки зрения включения отдельных элементов ESG-принципов, увеличивает ежегодные денежные потоки, генерируемые от объекта капитального строительства, что в свою очередь увеличивает стоимость девелоперской компании [13, 14].

Также увеличение стоимости девелоперской компании возможно получить за счет косвенного влияния ESG-принципов через создание уникального торгового предложения, позиционирование компании на рынке труда и создание у потребителей нужного восприятия конечной продукции и услуг компании [15, 16].

В аспекте каждого девелоперского проекта является стратегически важной задачей определение взаимосвязи между ростом стоимостью бизнеса и высоким рейтингом ESG [17, 18]. Использование отдельных элементов ESG-концепции в России берет свое начало в 70-х гг. прошлого века.

На сегодняшний день применение рассматриваемой концепции является актуальной повесткой для ведущих российских компаний [19]. В табл. 1 представлен перечень отечественных компаний в разных отраслях промышленности, которые придерживаются ESG-принципов и активно внедряют их в свою деятельность.

Таблица 1. ESG-рейтинг российских компаний на 01.01.2024 г.

Table 1. ESG-rating of Russian companies as of 01.01.2024

Место в рейтинге	Компания	Отрасль	Подотрасль	E-rank	S-rank	G-rank	ESG-рейтинг
1	СберБанк	Финансовая	Банки	2	1	4	2,3
2	ФосАгро	Химическая	Агрохимикаты	5	3	2	3,3
3	Полюс	Металлургическая и горнодобывающая	Драгоценные металлы	1	2	14	5,7
4	Татнефть	Нефтяная промышленность	Добыча газа и нефти	13	5	6	24
5	Роснефть	Нефтяная промышленность	Добыча газа и нефти	4	22	5	10,3

По данным рейтинга можно сделать вывод о том, что на данный момент лидируют финансовая отрасль и отрасли, связанные с добычей полезных ископаемых. Необходимо отметить, что всего четыре из 160 компаний в данном

рейтинге – компании, представляющие строительную отрасль. К ним относятся ПАО «Группа компаний «Самолет»», ООО «Компания «Эталон»», ПАО «Группа ЛСР» и ПАО «Группа компаний «ПИК»», рейтинговые

оценки которых представлены в табл. 2. По данным табл. 2 можно сделать вывод о том, что в компаниях ПАО «Группа компаний «Самолет»» и ООО «Компания «Эталон»» худший показатель в факторе экология (60 и 53 – наивыс-

шие оценки, что свидетельствует о наибольших рисках), а в компаниях ПАО «Группа ЛСР» и ПАО «Группа компаний «ПИК»» худшие показатели в социальном факторе (72 и 149 – наивысшие результаты).

Таблица 2. ESG-рейтинг строительных компаний на 01.01.2024 г.

Table 2. ESG-rating of construction companies as of 01.01.2024

Место в рейтинге	Компания	Отрасль	Подотрасль	E-rank	S-rank	G-rank	ESG-рейтинг
52	ПАО «Группа компаний «Самолет»»	Строительство	Строительство	60	47	43	50
53	ООО «Компания «Эталон»»	Строительство	Строительство	53	51	49	51
59	ПАО «Группа ЛСР»	Строительство	Строительство	49	72	56	59
134	ПАО «Группа компаний «ПИК»»	Строительство	Строительство	134	149	120	134

Анализ отраслевых отчетов показывает наличие значительного отставания строительной отрасли по темпам и масштабам внедрения принципов ESG по сравнению с другими отраслями. В строительной отрасли экологическое измерение ESG демонстрирует относительно слабую интеграцию, что отчасти объясняется ограниченным историческим прецедентом для разработки и распространения практик нефинансовой отчетности.

Дополнительные препятствия включают значительные затраты, связанные с принятием ESG, охватывающие не только обучение сотрудников и модернизацию инфраструктуры, но и фундаментальную реструктуризацию бизнес-процессов и динамики цепочки создания стоимости, что требует высоких капиталовложений на всех этапах жизненного цикла проекта строительства.

Рассмотрим уровень применения ESG-концепции на примере региональной девелоперской компании ООО СЗ «КСИ-Строй». Компания основана в 2006 г., имеет опыт строительства и проектирования жилых, офисных и промышленных объектов на территории Иркутской области. Так, жилой комплекс «Онегин» занял первое место в шестом городском архитектурном конкурсе «Градостроительство 2015». Также были построены жилые комплексы «Глазковский», «Приморский», «Солнечный берег», «Кумир». Были построены муниципальные объекты, такие как Иркутский областной колледж культуры, Гимназия № 44, школы № 21 и № 3, Усольская городская больница. ООО СЗ «КСИ-СТРОЙ» входит в группу

«Сибинструмент» – крупнейшего оптового поставщика в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке, имеющим филиалы в семи крупнейших городах.

При проведении оценки, согласно методике АКРА, на первом этапе проводится анализ перечня показателей устойчивого развития в области экологии, социальной ответственности, а также качества управления.

Для компании ООО СЗ «КСИ-Строй» использованы показатели, приведенные в табл. 3 [8].

При проведении оценки были использованы следующие источники информации:

1. Информация из открытых источников: сведения о приросте сотрудников с 2022 г., социальных инвестициях, соотношении женщин и мужчин в организации, опыт работы в компании и др.

2. Справочники наилучших доступных технологий для различных отраслей.

3. Европейская таксономия «зеленых» технологий или схожие источники в других юрисдикциях.

4. Сведения из отраслевых публикаций и открытых источников, а также информация, размещенная на сайтах компаний отрасли, в которой оперирует оцениваемое лицо (статистики о заработной плате и качественном составе строительных компаний на территории России, отчеты министерства в строительной отрасли за 2022 и 2023 г., статьи, касающиеся «зеленых» технологий и ESG-концепции). Итоги данного исследования представлены в табл. 3

Таблица 3. Итоговые оценки деятельности ООО СЗ «КСИ-Строй»
Table 3. Final assessments of the activities of LLC SD "KSI-Stroy"

Блок	Фактор	Оценка	Вес	Взвешенная оценка в рамках этапа	Итого	Вес этапа в рамках блока	Взвешенная оценка в рамках блока
Экология	Образование отходов	3	16,70 %	0,501	2,672	50 %	1,3
	Водопотребление	4	16,70 %	0,668			
	Выбросы вредных веществ	4	16,70 %	0,668			
	Выбросы парниковых газов	3	16,70 %	0,501			
	Энергопотребление	1	16,70 %	0,167			
	Сбросы сточных вод	1	16,70 %	0,167			
Социальная ответственность	Текущий кадров	3	16,70 %	0,501	2,839	50 %	1,4
	Заработная плата	2	16,70 %	0,334			
	Гендерный состав	4	16,70 %	0,668			
	Травматизм	2	16,70 %	0,334			
	Смертельный травматизм	1	16,70 %	0,167			
	Социальные инвестиции	5	16,70 %	0,835			
Управление	Независимость СД	2	14,30 %	0,286	2,002	50 %	1,0
	Стабильный состав СД	1	14,30 %	0,143			
	Опыт работы членов СД в отрасли	1	14,30 %	0,143			
	Концентрация акционерной собственности	1	14,30 %	0,143			
	Раскрытие информации	3	14,30 %	0,429			
	Стратегия управления	2	14,30 %	0,286			
	Структура управления	4	14,30 %	0,572			

Рассмотрим детально полученные оценки по каждому из блока методики. Блок «Социальная ответственность» имеет наихудший результат – 1,4, что говорит о наибольшем риске из всех блоков. Это обусловлено следующими показателями: текущий кадров (3 балла), гендерный состав (4 балла), социальные инвестиции (5 баллов). Наилучший показатель 1,0 у блока «Управление». Этому поспособствовали следующие критерии: независимость совета

директоров (2 балла), стабильный состав совета директоров (1 балл), опыт работы членов совета директоров в отрасли (1 балл). Промежуточный результат – 1,3 у блока «Экология», что вызвано влиянием таких факторов как: сбросы сточных вод (1 балл), водопотребление (4 балла), энергопотребление (1 балл), выбросы вредных веществ (4 балла). На втором этапе методики анализируются подходы компании к управлению рисками, с выставлением

от 1 (свидетельствует о максимальных действиях компании по минимизации рассматриваемого риска) до 5 (свидетельствует о минимальных действиях компании по минимизации рассматриваемого риска) [8].

В открытых источниках отсутствует информация об экологических рисках и рисках социальной ответственности, поэтому были поставлены оценки 5 – ни один из критериев не выполняется для отраслевых экологических и социальных рисков. Риск корпоративного управления равен 3, так как не выполняются 2 и 4 критерии – отсутствие верхнеуровневого документа по управлению данным риском и не представление информации субъекту оценки.

На следующем этапе проводится оценка страновых и региональных рисков. Компания работает только на территории одной страны – России, поэтому страновой риск определяться не будет.

В результате анализа региональных рисков в блоке «Экология», проводимого с использованием рангового подхода, оцениваемому лицу выставляется 3 балла (отношение расходов Иркутской области к валовому региональному продукту (ВРП) составляет 4,4 %). Уровень показателя «Региональные социальные риски» – 3 балла, определен исходя из отношения социальных расходов региона к уровню ВВП в Иркутской области [20].

Согласно отчету Министерства финансов Иркутской области, за 2023 г. ВРП равен 2203,3 млрд руб., а социальные расходы из него составляют 165,2 млрд руб. То есть отношение социальных расходов к ВРП равно 7,5 %. Региональные риски управление показали 4 балла.

Полученное значение было определено исходя из двух факторов с весом 50 %. К первому фактору относится индекс восприятия коррупции региона – 3 балла (Россия находится на 141 месте согласно Corruption Perceptions Index). Второй фактор – уровень привлекательности региона – 5 балла (по оценке рейтингового агентства «Эксперт», Иркутская область имеет уровень привлекательности С – наименьшая из возможных оценок).

Итоговая оценка равняется 3,4 баллам, что соответствует уровню ESG-11 (ESG-E) – приемлемая оценка в области экологии, социальной ответственности и управления (табл. 4).

С целью повышения оценки и более комплексного внедрения ESG-концепции, компании рекомендуется проводить следующие мероприятия:

1. Регулярно публиковать отчетность о своей деятельности.

2. Организовать деятельность комитета по инвестициям, в том числе социальным.

3. Внедрять технологии информационного проектирования в бизнес-процессы компании, с целью оптимизации сроков строительства, организационно-технологического проектирования и внедрению энергоэффективных технологий, в том числе на этапе проектирования, при создании цифровой информационной модели здания [21]. При этом необходимо отметить, что даже поэтапное внедрение ESG-принципов в бизнес-процессы компании может быть сопряжено с рядом вызовов, перечень которых отражен в табл. 4.

В табл. 5 представлены ESG-оценка для компании ООО СЗ «КСИ-Строй».

Таблица 4. Перечень вызовов при внедрении ESG-концепции в бизнес-процессы девелоперской компании

Table 4. List of challenges in implementing the ESG concept in the business processes of a development company

Перечень проблем	Описание
Дополнительные затраты	Внедрение ESG-концепции в отдельные строительные проекты может потребовать дополнительных расходов, к которым можно отнести, например, приобретение энергоэффективного оборудования [22]. При этом, покупка дорогостоящего оборудования требующего высоких капитальных затрат экономически эффективно в долгосрочной перспективе
Соппротивление изменениям со стороны сотрудников и подрядчиков	Соппротивление изменениям происходит при любых трансформационных процессах и возникает по причине отсутствия стратегического видения со стороны персонала и подрядчиков
Недостаток компетенций и опыта	На этапе внедрения концепции, а также на первых этапах реализации, требуется привлечение внешних экспертов компаний по сопровождению процесса интеграции концепции в бизнес-процессы девелоперской компании

Таблица 5. ESG-оценка для компании ООО СЗ «КСИ-Строй»
Table 5. ESG assessment for the company LLC SD "KSI-Stroy"

Блок	Фактор	Оценка	Вес	Взвешенная оценка в рамках этапа	Итого	Вес этапа в рамках блока	Взвешенная оценка в рамках блока	Итого	Вес блока в рамках ESG- концепции	Взвешенная оценка в рамках ESG- концепции	Итого	
Экология	Образование отходов	3	16,70 %	0,501	3,0	50 %	1,5	3,803	33,30 %	1,27	3,4	
	Водопотребление	4	16,70 %	0,668								
	Выбросы вредных веществ	4	16,70 %	0,668								
	Выбросы парниковых газов	3	16,70 %	0,501								
	Энергопотребление	1	16,70 %	0,167								
	Сбросы сточных вод	3	16,70 %	0,501								
	Отраслевые экологические риски	5			40 %	2						
	Региональные экологические риски	3			10 %	0,3						
Социальная ответственность	Текущее кадров	3	16,70 %	0,501	2,8	50 %	1,4	3,7195	33,30 %	1,24		
	Заработная плата	2	16,70 %	0,334								
	Гендерный состав	4	16,70 %	0,668								
	Травматизм	2	16,70 %	0,334								
	Смертельный травматизм	1	16,70 %	0,167								
	Социальные инвестиции	5	16,70 %	0,835								
	Отраслевые социальные риски	5			40 %	2						
	Региональные социальные риски	3			10 %	0,3						
	Управление	Независимость СД	2	14,30 %	0,286	2,0	50 %	1,0	2,601	33,30 %		0,87
		Стабильный состав СД	1	14,30 %	0,143							
Опыт работы членов СД в отрасли		1	14,30 %	0,143								
Концентрация акционерной собственности		1	14,30 %	0,143								
Раскрытие информации		3	14,30 %	0,429								
Стратегия управления		2	14,30 %	0,286								
Структура управления		4	14,30 %	0,572								
Риски корпоративного управления		3			40 %	1,2						
Региональные риски управления		4			10 %	0,4						

С целью определения эффективности проведения мероприятий по внедрению ESG-концепции определим влияние мероприятий на итоговую стоимость девелоперского проекта [23].

Среди факторов, оказывающих влияние на стоимость девелоперского проекта и показатели эффективности, можно выделить сметную стоимость строительства, инфляцию, уровень ставки кредитования проектного финансирования, цену и темпы продаж [24]. Общедоступным методом включения факторов риска, специфичных для определенного девелоперского проекта, в финансово-экономическую оценку относится определение ставки дисконтирования [25].

В этом контексте ставка дисконтирования представляет собой ожидаемую норму прибыли на инвестированный капитал в альтернативные инвестиционные возможности, демонстрирующие сопоставимый профиль риска. Анализ чувствительности показателей эффективности в зависимости от ставки дисконтирования позволяет проводить более точную оценку экономической жизнеспособности проекта, а также направлен на определение зависимости ставки от включения в проект принципов ESG-концепции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При проведении анализа чувствительности показателей эффективности от ставки дисконтирования для девелоперского проекта, реализуемого компанией ООО СЗ «КСИ-Строй», были сделаны следующие выводы:

1. В расчетном значении несистематических рисков: риск ключевой фигуры в управлении уменьшился с 3 до 1, потому что согласие на использование новых технологий позволяет увеличить конкурентоспособность и эффективность, риски компетентности руководства и доступности капитала изменились с 3 до 2, поскольку следование тенденциям привлекает больше инвестиций в проект, риск перспектив развития отрасли и предприятия снизился с 3 до 2, так как ООО СЗ «КСИ-Строй» уже соответствует требованиям современного строительного сообщества.

2. Премия за риск уникальности объекта повысилась с 3 до 4 %, что связано с использованием «зеленых» технологий.

3. Поправки на дополнительный риск для отрасли: снизился фактор конкуренции в регионе, так как доля «зеленых» домов, находящихся непосредственно в г. Иркутске, от общего числа по Сибирскому Федеральному округу – 12 %, поэтому в сегменте «зеленых» домов конкуренция только формируется. Социальный фактор уменьшился с 6 до 3, а уровень инвестиций с 6 до 4, в том числе из-за пониженной ставки дисконтирования, так как это показатель, что инвестор получит больше прибыли, соответственно, такие проекты привлекут больше внимания инвесторов. Экологический фактор снизился с 7 до 1 из-за следования концепции ESG и «зеленым» технологиям, степень износа основных фондов снизилась с 7 до 3 за счет возможности большего количества средств на амортизацию. Таким образом, можно сделать вывод о том, что ожидаемая ставка дохода на вложенный капитал будет выше с применением ESG-факторов и этот вариант инвестирования будет наиболее перспективным. Интеграция ESG-концепции в российский девелопмент позволит обеспечить стратегическое видение к повышению долгосрочной устойчивости строительных проектов к новым экологическим нормам и меняющимся ожиданиям инвесторов. Вместе с тем, внедрение методов устойчивого строительства, руководствуясь принципами ESG, может значительно сократить углеродный след новых работ, что является критическим фактором в достижении национальных целей.

ESG-концепция позволяет застройщикам заблаговременно выявлять и решать потенциальные экологические, социальные и управленческие риски, тем самым минимизируя финансовые и репутационные риски компании. Кроме того, применение ESG-принципов способствует внедрению инновационных и ресурсоэффективных строительных технологий, что приводит к улучшению эксплуатационных показателей и снижению затрат на всех этапах жизненного цикла девелоперского проекта.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Albitar K., Hussainey K., Kolade N., Gerged A.M. ESG Disclosure and Firm Performance Before and After IR: The Moderating Role of Governance Mechanisms // *International Journal of Accounting & Information Management*. 2020. Vol. 28. Iss. 3. P. 429–444. <https://doi.org/10.1108/IJAIM-09-2019-0108>.
2. Linnenluecke M.K. Environmental, Social and Governance (ESG) Performance in the Context of Multinational Business Research // *Multinational Business Review*. 2022. Vol. 30. Iss. 1. P. 1–16. <https://doi.org/10.1108/MBR-11-2021-0148>.
3. Zhongfei Chen, Guanxia Xie ESG Disclosure and Financial Performance: Moderating Role of ESG Investors // *International Review of Financial Analysis*. 2022. Vol. 83. P. 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2022.102291>.

4. Mingyue Fang, Huihua Nie, Xinyi Shen Can Enterprise Digitization Improve ESG Performance? // *Economic Modelling*. 2023. Vol. 118. P. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2022.106101>.
5. Измайлова М.А. Реализация ESG-стратегий российских компаний в условиях санкционных ограничений // *МИР (Модернизация. Инновации. Развитие)*. 2022. Т. 13. № 2. С. 185–201. <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2022.13.2.185-201>. EDN: BHXXJT.
6. Жукова Е.В. Основные тенденции развития ESG-повестки: обзор в России и в мире // *Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова*. 2021. Т. 18. № 6. С. 68–82. <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2021-6-68-82>. EDN: ESIWVI.
7. Замятина М.Ф., Тишков С.В. ESG-факторы в стратегиях компаний и регионов России и их роль в региональном инновационном развитии // *Вопросы инновационной экономики*. 2022. Т. 12. № 1. С. 501–518. <https://doi.org/10.18334/vines.12.1.114369>. EDN: BBTFVZ.
8. Алиева Г.А. Определение ESG-рейтинга предприятия // *Digital*. 2022. Т. 3. № 2. С. 10–18. EDN: YOJYCA.
9. Зотова А.А. Зарубежный опыт ESG-коммуникаций: «зеленая» повестка в строительстве жилой недвижимости (Германия и Австралия) // *Реклама, PR и дизайн в бренд-коммуникациях. Сб. науч. трудов II Междунар. науч.-практ. конф. (г. Москва, 13–14 апреля 2023 г.)*. М., 2023. С. 139–149. EDN: RIYDXS.
10. Крашенинников М.В. ESG-инвестирование как тренд будущего // *Национальная ассоциация ученых*. 2023. № 86-1. С. 11–16. <https://doi.org/10.31618/nas.2413-5291.2023.1.86.682>. EDN: PUDEZO.
11. Матвеева М.В., Пешков В.В., Козьма М.В. Оценка рисков и возможностей, связанных с ESG-факторами, в инвестиционно-строительных проектах // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2024. Т. 14. № 3. С. 474–486. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-474-486>. EDN: ZKPGWH.
12. Spilker G., Nugent N. Voluntary Carbon Market Derivatives: Growth, Innovation & Usage // *Borsa Istanbul Review*. 2022. Vol. 22. P. S109–S118. <https://doi.org/10.1016/j.bir.2022.11.008>.
13. Changhong Zhao, Yu Guo, Jiahai Yuan, Mengya Wu, Daiyu Li, Yiou Zhou et al. ESG and Corporate Financial Performance: Empirical Evidence from China's Listed Power Generation Companies // *Sustainability*. 2018. Vol. 10. Iss. 8. P. 1–18. <https://doi.org/10.3390/su10082607>.
14. Ellili N.O.D. Impact of ESG Disclosure and Financial Reporting Quality On Investment Efficiency // *Corporate Governance*. 2022. Vol. 22. Iss. 5. P. 1094–1111. <https://doi.org/10.1108/CG-06-2021-0209>.
15. Farooq O. Financial Centers and The Relationship Between ESG Disclosure and Firm Performance: Evidence from an Emerging Market // *Journal of Applied Business Research*. 2015. Vol. 31. Iss. 4. P. 1239–1244. <https://doi.org/10.19030/jabr.v31i4.9298>.
16. Диваева Э.А. Условия трансформации ESG-принципов: экономические и социальные аспекты // *Инновации и инвестиции*. 2022. № 1. С. 65–70. EDN: SDTUYL.
17. Xin Deng, Jun-Koo Kang, Buen Sin Low Corporate Social Responsibility and Stakeholder Value Maximization: Evidence from Mergers // *Journal of Financial Economics*. 2013. Vol. 110. Iss. 1. P. 87–109. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2013.04.014>.
18. Жукова Е.В. Развитие ESG-подхода к управлению организацией. М.: Русайнс, 2022. 138 с. EDN: VJTUAV.
19. Honghui Chen, Xiayang Wang Corporate Social Responsibility and Corporate Financial Performance in China: An Empirical Research from Chinese Firms // *Corporate Governance*. 2011. Vol. 11. Iss. 4. P. 361–370. <https://doi.org/10.1108/14720701111159217>.
20. Бушкевич Д.А., Пятаева Н.В. Методы повышения ESG-рейтинга компаний строительной сферы // *XXXVI Междунар. Плехановские чтения. Сб. статей участников конф. (г. Москва, 25–27 апреля 2023 г.)*. М., 2023. С. 37–41. EDN: YBOMDV.
21. Кудрявцева В.А., Никишина О.В. Цифровая трансформация как фактор устойчивого развития строительного комплекса // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2022. Т. 12. № 4. С. 492–500. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-492-500>. EDN: BXMBZG.
22. Комаров А.К., Розина В.Е., Шустов П.А. Организационно-технологические мероприятия по экономии ресурсов и энергосбережению в процессе проектирования и строительства в зимний период // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2022. Т. 12. № 4. С. 579–588. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-579-588>. EDN: FCBMDY.
23. Орлов И.Ю. Основные факторы, влияющие на стоимость девелоперского проекта // *Российское предпринимательство*. 2015. Т. 16. № 12. С. 1821–1836. <https://doi.org/10.18334/rp.16.12.391>. EDN: UABWKV.
24. Ануфриев В.П., Гудим Ю.В., Каминов А.А. Устойчивое развитие. Энергоэффективность. Зеленая экономика. Екатеринбург: Научно-издательский центр ИНФРА-М, 2021. 201 с. <https://doi.org/10.12737/1226403>. EDN: TTQHUG.
25. Нужина И.П., Каверзина Л.А., Егорова О.В. Конкурентоспособность строительной организации в условиях ESG-трансформации // *Проблемы социально-экономического развития Сибири*. 2023. № 3 (53). С. 31–37. <https://doi.org/10.18324/2224-1833-2023-3-31-37>. EDN: TKSGXZ.

REFERENCES

1. Albitar K., Hussainey K., Kolade N., Gerged A.M. ESG Disclosure and Firm Performance Before and After IR: The Moderating Role of Governance Mechanisms. *International Journal of Accounting & Information Management*. 2020;28(3):429-444. <https://doi.org/10.1108/IJAIM-09-2019-0108>.
2. Linnenluecke M.K. Environmental, Social and Governance (ESG) Performance in the Context of Multinational Business Research. *Multinational Business Review*. 2022;30(1):1-16. <https://doi.org/10.1108/MBR-11-2021-0148>.
3. Zhongfei Chen, Guanxia Xie ESG disclosure and financial performance: Moderating role of ESG investors. *International Review of Financial Analysis*. 2022;83:1-16. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2022.102291>.
4. Mingyue Fang, Huihua Nie, Xinyi Shen Can Enterprise Digitization Improve ESG Performance? *Economic Modelling*. 2023;118:1-15. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2022.106101>.
5. Izmailova M.A. Implementation of ESG Strategies of Russian Companies Under Sanctions Restrictions. *MIR (Modernization. Innovation. Research)*. 2022;13(2):185-201. (In Russ.). <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2022.13.2.185-201>. EDN: BHXXJT.
6. Zhukova E.V. Key Trends in ESG-Agenda Development: Reviewing The Situation in Russia and The World. *Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics*. 2021;18(6):68-82. (In Russ.). <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2021-6-68-82>. EDN: ESIWVI.
7. Zamyatina M.F., Tishkov S.V. ESG Factors in Russian Business and Regional Strategies and Their Role in Regional Innovative Development. *Russian Journal of Innovation Economics*. 2022;12(1):501-518. (In Russ.). <https://doi.org/10.18334/vinec.12.1.114369>. EDN: BBTFVZ.
8. Alieva G.A. Determining the Company's ESG Rating. *Digital*. 2022;3(2):10-18. (In Russ.). EDN: YOJYCA.
9. Zotova A.A. Foreign Experience of ESG Communications: "Green" Agenda in The Construction of Residential Real Estate (Germany and Australia). In: *Reklama, PR i dizain v brend-kommunikatsiyakh. Sbornik nauchnykh trudov II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Advertising, PR and Design in Brand Communications. Collection of Scientific Papers of The II International Scientific and Practical Conference*. 13–14 April 2023, Moscow. Moscow; 2023. p. 139–149. (In Russ.). EDN: RIYDXS.
10. Krashennnikov M.V. ESG Investing as A Trend of the Future. *Natsionalnaya assotsiatsiya uchenykh*. 2023;86-1:11-16. (In Russ.). <https://doi.org/10.31618/nas.2413-5291.2023.1.86.682>. EDN: PUDEZO.
11. Matveeva M.V., Peshkov V.V., Kozma M.V. Assessing Risks and Opportunities Associated with ESG Factors in Investment Projects. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(3):474-486. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-474-486>. EDN: ZKPGWH.
12. Spilker G., Nugent N. Voluntary Carbon Market Derivatives: Growth, Innovation & Usage. *Borsa Istanbul Review*. 2022;22:S109-S118. <https://doi.org/10.1016/j.bir.2022.11.008>.
13. Changhong Zhao, Yu Guo, Jiahai Yuan, Mengya Wu, Daiyu Li, Yiou Zhou et al. ESG and Corporate Financial Performance: Empirical Evidence from China's Listed Power Generation Companies. *Sustainability*. 2018;10(8):1-18. <https://doi.org/10.3390/su10082607>.
14. Ellili N.O.D. Impact of ESG Disclosure and Financial Reporting Quality On Investment Efficiency. *Corporate Governance*. 2022;22(5):1094-1111. <https://doi.org/10.1108/CG-06-2021-0209>.
15. Farooq O. Financial Centers and The Relationship Between ESG Disclosure and Firm Performance: Evidence from an Emerging Market. *Journal of Applied Business Research*. 2015;31(4):1239-1244. <https://doi.org/10.19030/jabr.v31i4.9298>.
16. Divaeva E.A. Conditions for The Transformation of ESG Principles: Economic and Social Aspects. *Innovation & Investment*. 2022;1:65-70. (In Russ.). EDN: SDTUYL.
17. Xin Deng, Jun-Koo Kang, Buen Sin Low Corporate Social Responsibility and Stakeholder Value Maximization: Evidence from Mergers. *Journal of Financial Economics*. 2013;110(1):87-109. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2013.04.014>.
18. Zhukova E.V. *Development of The ESG Approach to Organizational Management*. Moscow: Rusains, 2022. 138 p. (In Russ.). EDN: VJTUAV.
19. Honghui Chen, Xiayang Wang Corporate Social Responsibility and Corporate Financial Performance in China: An Empirical Research from Chinese Firms. *Corporate Governance*. 2011;11(4):361-370. <https://doi.org/10.1108/14720701111159217>.

20. Bushkevich D.A., Pyataeva N.V. Methods of Increasing the ESG Rating of Construction Companies. In: XXXVI Mezhdunarodnye Plekhanovskie chteniya. Sbornik statei uchastnikov konferentsii = XXXVI International Plekhanov Readings. Collection of Articles by Conference Participants. 25–27 April 2023, Moscow. Moscow; 2023. p. 37–41. (In Russ.). EDN: YBOMDV.
21. Kudryavtseva V.A., Nikishina O.V. Digital Transformation as A Factor in Sustainable Construction Industry Development. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2022;12(4):492-500. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-492-500>. EDN: BXMBZG.
22. Komarov A.K., Rozina V.E., Shustov P.A. Administrative and Technological Measures to Save Resources and Energy During Design and Construction in Winter. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2022;12(4):579-588. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-579-588>. EDN: FCBMDY.
23. Orlov I.Yu. Main Factors Affecting the Value of a Development Project. *Russian Journal of Entrepreneurship.* 2015;16(12):1821-1836. (In Russ.). <https://doi.org/10.18334/rp.16.12.391>. EDN: UABWKV.
24. Anufriev V.P., Gudim Ju.V., Aitkali A.A. *Sustainable Development. Energy Efficiency. Green Economy.* Ekaterinburg: Scientific Publishing Center INFRA-M, 2021. 201 p. (In Russ.). <https://doi.org/10.12737/1226403>. EDN: TTQHUG.
25. Nuzhina I.P., Kaverzina L.A., Egorova O.V. Competitiveness of The Construction Organization in The Context of ESG Transformation. *Issues of Social-Economic Development of Siberia.* 2023;3(53):31-37. (In Russ.). <https://doi.org/10.18324/2224-1833-2023-3-31-37>. EDN: TKSGXZ.

Информация об авторах

Матвеева Мария Витальевна,

д.э.н, профессор, профессор кафедры экспертизы и управления недвижимостью, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, e-mail: expertiza@istu.edu <https://orcid.org/0000-0002-9390-5444> Author ID: 505831

Безруких Ольга Андреевна,

старший преподаватель кафедры экспертизы и управления недвижимостью, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, ✉e-mail: olga.bezrukikh11@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-2301-3205> Author ID: 1046586

Изнова Вероника Алексеевна,

аспирант, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, e-mail: iznovava@ex.istu.edu

Балышева Анна Николаевна,

магистрант, Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, Россия, e-mail: annabalysheva0@gmail.com

Information about the authors

Maria V. Matveeva,

Dr. Sci. (Econ.), Professor, Professor of the Department of Expertise and Real Estate Management, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia, e-mail: expertiza@istu.edu <https://orcid.org/0000-0002-9390-5444> Author ID: 505831

Olga A. Bezrukikh,

Senior Lecturer of the Department of Real Estate Expertise and Management, Irkutsk National Research Technical University 83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia, ✉e-mail: olga.bezrukikh11@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-2301-3205> AuthorID: 1046586

Veronika A. Iznova,

Postgraduate Student, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia, e-mail: iznovava@ex.istu.edu

Anna N. Balysheva,

Master's Student, Moscow State University of Civil Engineering, 26 Yaroslavskoe Sh., Moscow 129337, Russia, e-mail: annabalysheva0@gmail.com

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Матвеева Мария Витальевна является членом редакционной коллегии журнала «Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость» с 2018 года, но не имеет отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах авторы не заявляли.

Conflict of interests

Maria V. Matveeva has been a member of the Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate" Editorial Board since 2018, but she was not in-volved in making decision about accepting the present article for publication. The article was subjected the Journal's review procedure. The authors did not report any other conflicts of interest.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 16.01.2025.
Одобрена после рецензирования 29.01.2025.
Принята к публикации 30.01.2025.

Information about the article

The article was submitted 16.01.2025.
Approved after reviewing 29.01.2025.
Accepted for publication 30.01.2025.



Исследование энергоэффективности жилищного фонда для разработки технологических решений при капитальном ремонте

О.Н. Попова^{1✉}, А.А. Шошина², А.Ф. Юдина³, Т.Л. Симанкина⁴

^{1,2}Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия

³Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия

⁴Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Цель работы – исследование энергоэффективности многоквартирных домов типовых серий советской постройки и разработка перечня характеристик для совершенствования методов типизации технологических решений для планирования программ энергоэффективного капитального ремонта жилищного фонда. Проведен анализ существующих методов классификации жилищного фонда при формировании типовых пакетов технологических решений для повышения энергоэффективности при капитальном ремонте. Установлено, что для кластеризации используется ограниченный набор объемно-планировочных и конструктивных характеристик, что приводит к значительному усреднению внутри получаемых классов объектов. На основе данных журналов учета тепловой энергии проведено исследование фактического энергопотребления 183 многоквартирных домов типовых серий. Определены классы энергоэффективности для каждого из объектов. Анализ показал отсутствие явной зависимости класса энергоэффективности от серии (типа) многоквартирного дома. Целесообразно разрабатывать технологические решения на основе расширенного перечня фактических характеристик энергоэффективности (таких как потребление энергии, теплопроводность ограждающих конструкций и воздухопроницаемость) и качественных данных (включая учет заявок или результаты интервью с жильцами). Выявлено, что класс энергоэффективности домов варьируется в зависимости от изменения среднегодовой температуры наружного воздуха. Это указывает на необходимость учета погодных условий в период проведения обследования энергоэффективности зданий. Результатом исследования является рекомендованный перечень характеристик энергоэффективности зданий для выбора технологических решений и внедрения в программы энергоэффективного капитального ремонта.

Ключевые слова: жилищный фонд, класс энергоэффективности, программы капитального ремонта, типизация, пакет энергоэффективных мероприятий, технологические решения капитального ремонта

Для цитирования: Попова О.Н., Шошина А.А., Юдина А.Ф., Симанкина Т.Л. Исследование энергоэффективности жилищного фонда для разработки технологических решений при капитальном ремонте // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 1. С. 97–109. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-97-109>. EDN: QYMYBQ.

Original article

Energy efficiency of housing stock for the development of technological solutions for major repairs

Olga N. Popova^{1✉}, Alyona A. Shoshina², Antonina F. Yudina³, Tatyana L. Simankina⁴

^{1,2}Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia

³Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia

⁴Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia

© Попова О.Н., Шошина А.А., Юдина А.Ф., Симанкина Т.Л., 2025

Abstract. This paper aims to study the energy efficiency of apartment buildings of Soviet typical construction as well as to develop a list of characteristics for improving the methods for typification of technological solutions for planning programs for energy-efficient major repairs of the housing stock. Existing methods for classifying the housing stock in the formation of standard packages of technological solutions for increasing energy efficiency during capital repairs were analyzed. A limited set of volumetric planning and design characteristics used for clustering was revealed, which leads to significant averaging within the resulting classes of objects. A study was conducted on the actual energy consumption of 183 apartment buildings of a typical series. The data for this study was obtained from heat energy metering logs. Energy efficiency classes have been defined for each of the objects. The analysis has demonstrated that there is no evident correlation between the energy efficiency class and the series (type) of the apartment building. Consequently, the development of technological solutions should be based on an extended list of actual energy efficiency characteristics, such as energy consumption, thermal conductivity of the enclosing structures, and air permeability, supplemented by qualitative data (including application records or resident survey results). It was found that the energy efficiency class of houses varies depending on the change in the average annual ambient air temperature. This indicates the need to take into account weather conditions during the period of the survey of the energy efficiency of buildings. A list of characteristics of the energy efficiency of buildings for the selection of technological solutions and implementation in energy-efficient major repair programs was developed.

Keywords: housing stock, energy efficiency class, capital repair programs, typification, package of energy-efficient measures, technological solutions for capital repairs

For citation: Popova O.N., Shoshina A.A., Yudina A.F., Simankina T.L. Energy efficiency of housing stock for the development of technological solutions for major repairs. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(1):97-109. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-97-109>. EDN: QYMYBQ.

ВВЕДЕНИЕ

В Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года (Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2021 № 3052-р) указано, что более половины жилых домов, построенных в советский период и ранее, характеризуются низким классом энергоэффективности (D и ниже).

Энергопотребление таких зданий превышает аналогичные показатели современных сооружений в два и более раза. Капитальный ремонт жилищного фонда является одним из основных воспроизводственных мероприятий для объектов строительства. Размер инвестиций, уже накопленных в региональных фондах капитального ремонта, превышают 2 трлн руб., а количество жилищного фонда и его разнообразие постоянно растет. Одновременно нарастают и признаки деградации, выраженные не только в физическом, но и в моральном устаревании жилья.

Основным из признаков такого устаревания является низкий класс энергоэффективности существующего жилья, что негативно сказывается не только на качестве жизни граждан, но и на экономике страны в целом. В связи с этим внедрение энергоэффективных технологий в процессе капитального ремонта представля-

ется экономически и экологически обоснованным.

В научной литературе активно исследуются и описываются различные технологии энергоэффективного ремонта.

В рамках отечественных исследований предлагаются пакеты наиболее целесообразных мероприятий, которые можно систематизировать в четыре основные группы [1–2]:

1. Повышение уровня теплозащиты ограждающих конструкций.
2. Улучшение герметичности ограждающих конструкций.
3. Модернизация инженерных систем, включая внедрение систем регулирования подачи энергоресурсов.
4. Установка возобновляемых источников энергии.

Предполагается, что комплексное применение ряда технологических решений способно обеспечить синергетический эффект.

Исследование теории и практики организационно-технологического проектирования при реализации массовых программ капитального ремонта жилищного фонда выявила два противоположных подхода к планированию:

1. Традиционный подход заключается в классификации жилищного фонда на группы однородных объектов на основе укрупнения и

усреднения характеристик объектов капитального строительства.

2. Современный подход основан на многокритериальной оценке всей совокупности количественных и качественных характеристик объектов с применением методов информационного моделирования и обратки больших массивов данных.

Результаты многочисленных исследований свидетельствуют о том, что энергетические характеристики зданий формируются под влиянием сложного комплекса факторов. К ним относятся физические, механические, метеорологические, поведенческие и другие аспекты [5, 6]. В связи с этим за последнее десятилетие наблюдается значительный рост количества исследований в области энергоэффективности зданий [7], особенно тех, которые посвящены информационному моделированию объектов капитального строительства как сложных систем.

Такой подход, а также применение современных инструментов обработки данных, демонстрируют целесообразность и открывают возможности для многокритериальной оценки энергоэффективности зданий [8–11].

Тем не менее, на текущий момент в России для целей планирования капитального ремонта, включая энергоэффективные мероприятия, жилищный фонд классифицируется методами укрупнения и усреднения данных. В основе этой классификации лежит ограниченный набор технических характеристик, таких как материал ограждающих конструкций, год постройки и этажность.

При этом учитывается вариативность энергопотребления зданий в зависимости от региона их расположения [2, 12].

Не принимается во внимание, что энергопотребление не может быть объяснено исключительно погодными или климатическими условиями [13–16].

Жилищный фонд в значительной степени состоит из многоквартирных домов (МКД) типовых серий, построенных в советский период. Ряд исследований подтверждает возможность укрупненной классификации таких объектов для реализации типовых энергоэффективных решений [1–2]. Этот подход основывается на гипотезе о схожей энергоэффективности групп типовых зданий.

Влияние применения различных технологий или их комбинаций на энергопотребление зданий изучено недостаточно. Имеющиеся исследования носят фрагментарный характер, что не позволяет сделать однозначных выводов. Утверждение о том, что типовые пакеты энергоэффективных решений будут одинаково

эффективны для всех типовых зданий, вызывает сомнения и требует дополнительной проверки.

Таким образом, целью данной работы является исследование энергоэффективности многоквартирных домов типовых серий советской постройки и разработка перечня характеристик для совершенствования методов типизации технологических решений для планирования программ энергоэффективного капитального ремонта жилищного фонда.

Задачи исследования:

- анализ энергоэффективности жилищного фонда советской постройки на основе фактических показателей потребления тепловой энергии и их классификации (группировки) на примере жилищного фонда г. Архангельска;

- оценка класса энергоэффективности многоквартирных домов отдельных серий советской постройки и анализ возможности типизации технологических решений для типовых объектов;

- анализ потребления тепловых ресурсов и оценка класса энергоэффективности многоквартирных домов (МКД) в зависимости от климатических факторов.

МЕТОДЫ

В качестве источника информации для формирования базы данных многоквартирных домов типовых серий, построенных в советский период с 1950-х по 1990-е г., целесообразно было бы использовать государственную информационную систему жилищно-коммунального хозяйства (ГИС ЖКХ).

Анализ данных, содержащихся в этой системе, показал, что информация о технических характеристиках объектов является некачественной. Она либо неполная, либо недостоверная. В связи с этим база данных была сформирована на основе натурного обследования жилищного фонда на примере г. Архангельска.

Следует отметить, что открытой базы данных показателей потребления тепловой энергии в настоящее время не существует. Эти сведения не входят в перечень информации, размещаемой в ГИС ЖКХ, что значительно затрудняет оценку энергоэффективности жилой застройки города.

Важным фактором успешной реализации региональных программ энергоэффективного капитального ремонта является раскрытие информации о многоквартирных домах.

Формирование общедоступных (публичных) рейтингов энергопотребления существующих зданий позволяет пользователям проводить сравнительный анализ, способствует снижению энергопотребления в отдельных типах

зданий, реализации инициатив по устойчивому развитию территорий [8, 17–22], а также служит катализатором для научных исследований.

Основными данными для исследования являются показатели потребления тепловой энергии, полученные на основе журналов учета, предоставленных управляющими организациями города.

Исследование базируется на данных годового и месячного потребления тепловой энергии многоквартирными домами типовых серий советской постройки.

Сбор показаний осуществляется в течение всего года и фиксируется в журналах учета тепловой энергии.

Определение класса энергоэффективности МКД проводится в соответствии с правилами, установленными Федеральным законом № 261 «Об энергоснабжении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 г.

Сравнительный анализ класса энергоэффективности МКД отдельных серий советского периода постройки для реализации программ энергоэффективного капитального ремонта был проведен с использованием экспресс-оценки на основе программного продукта «Помощник ЭКР» (калькулятор расчета потенци-

ала экономии коммунальных ресурсов в многоквартирном доме).

Алгоритм расчета класса энергоэффективности МКД соответствует требованиям Приказа Минстроя и ЖКХ РФ от 06.06.2016 № 399/пр (глава 1.2).

При этом «Помощник ЭКР» учитывает в расчетах не только расходы на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение и электрообеспечение, но и типовые конструктивные особенности зданий.

Анализ потребления тепловых ресурсов и оценка класса энергоэффективности МКД в зависимости от климатических факторов заключаются в выявлении влияния погодных условий в период фактических измерений энергопотребления на определение класса энергоэффективности здания.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основании натурного осмотра и архивных данных проектного института «Архангельскгражданпроект» была собрана база характеристик типовых серий многоквартирных жилых домов г. Архангельска, наиболее распространенных в центральных районах города и построенных в период с 1950-х по 2000-е г. Многоквартирные дома рассматриваемых серий в совокупности составляют порядка 70 % жилищного фонда города (табл. 1).

Таблица 1. Серии типовых многоквартирных домов советского периода в г. Архангельске
Table 1. Series of typical apartment buildings of the Soviet period in Arkhangelsk

Группа зданий	«Ста- линка»	«Хрущевка» / «Бреж- невка»		«Улья- новка»	«Брежневка»	
Серия	1-410, 1-418, 1-419, 1-420, 1-428, 1-460, 1-506	1-447	1-464	1-335	114-85	93
Фотофиксация типового многоквартирного дома						
Годы строительства	1955–1962	1958–1964		1972–1985	1974–2005	1979–1990
Конструктивная схема	стендовая, перекрестная					полный каркас
Стены	керамиче- ский кир- пич (640 мм)	силикат- ный кир- пич (770 мм)	двуслойные панели из шунгизито- бетона (350 мм)	двуслой- ные па- нели из шунгизито- бетона (350 мм)	силикат- ный кир- пич (770 мм)	двуслой- ные па- нели из шунгизито- бетона (350 мм)
Перекрытия	бетонные круглопу- стотные плиты (220 мм)		сплошные железобе- тонные плиты (100 мм)	бетонные круглопустотные плиты (220мм)		

Окончание табл. 1

Группа зданий	«Ста- линка»	«Хрущевка» / «Бреж- невка»		«Улья- новка»	«Брежневка»	
Кровля	скатная с техэтажом, покрытие – асбестоце- ментный волнистый лист		плоская, сов- мещенная, покрытие – рулонная гид- роизоляция	плоская с техэтажом, покрытие – рулонная гидроизоляция		
Подвал/техэтаж	теплый	холодный				
Окна	деревянные с двойным остеклением в отдельных переплетах					
Двери наружные	металлические					
Количество этажей	5	5	5	9	9	10
Высота этажа, м	3–3,3	2,8	2,65	2,95	2,8	2,95

Расчетные проектные и фактические сопротивления теплопередачи стен домов рассматриваемых серий более чем в 2–3 раза ниже нормативных значений [22–24], что является типичным для всех серий. Согласно проектным данным и гипотезе исследования, все дома должны иметь одинаковый класс энергоэффективности.

Определен класс энергоэффективности для 183 из 1100 МКД основных типовых серий г. Архангельска. Оценка проводилась на основе показателя удельного расхода годового потребления тепловой энергии на 1 м² площади МКД, рассчитанного по данным журналов учета. Результаты представлены на графиках (рис. 1).

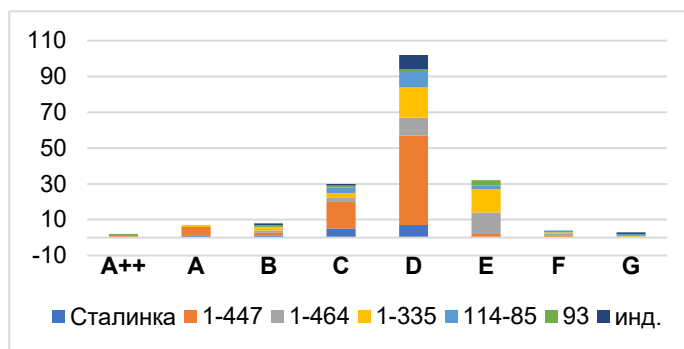
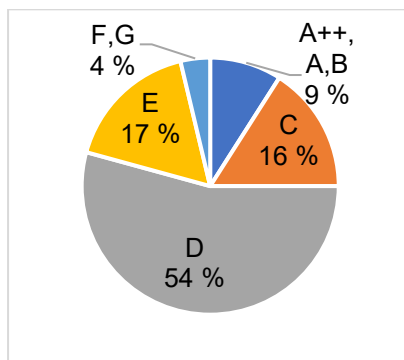


Рис. 1. Распределение многоквартирных домов по классу энергоэффективности
Fig. 1. Distribution of apartment buildings by energy efficiency class

На рис. 2 показано отклонение фактического потребления тепловой энергии от среднего значения. Анализ данных показал, что класс энергоэффективности многоквартирных домов не имеет явной зависимости от их серии (типа). Большинство обследованных объектов относятся к классу D. Исследования данной

группы зданий и анализ режимов их эксплуатации свидетельствуют о том, что дома находятся в удовлетворительном состоянии. Однако ретроспективный анализ не выявил случаев проведения комплексных энергоэффективных ремонтов. Работы носили преимущественно текущий и эпизодический характер.

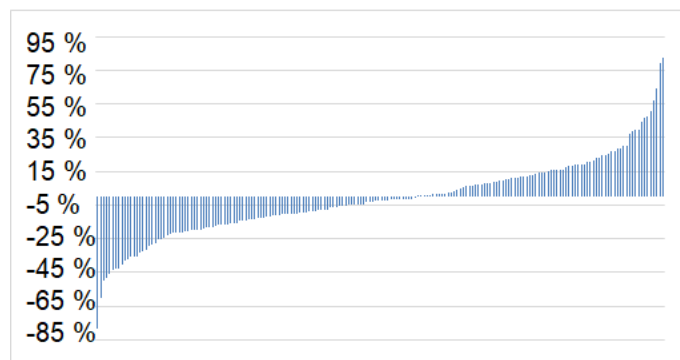


Рис. 2. Отклонение от норматива потребления
Fig. 2. Deviation from the energy consumption standard

Значительная часть многоквартирных домов (16 % от общего числа обследованных) имеет класс энергоэффективности С. Эти здания также находятся в удовлетворительном или хорошем состоянии. В некоторых случаях отмечаются отдельные мероприятия, которые можно отнести к энергоэффективному капитальному ремонту. К ним относятся, например, герметизация межпанельных швов, замена и герметизация оконных и дверных заполнений, ремонт инженерных систем, а также модернизация узлов управления системами отопления.

Небольшая часть жилищного фонда демонстрирует повышенные классы энергоэффективности (А++, А, В). Анализ журналов учета заявок жильцов этих домов выявил значительное количество жалоб на несоответствие температуры воздуха в жилых и нежилых помещениях установленным нормам. Это указывает на то, что повышенное потребление тепловой

энергии в этих зданиях связано с дефектами отопительных систем. Основной целью ремонтных работ в таких случаях является нормализация микроклимата помещений, а не снижение энергопотребления.

Исследование энергоэффективности жилищного фонда проводилось на основе анализа журналов учета тепловой энергии за различные временные периоды. В рамках изучения фактической энергоэффективности многоквартирных домов определенных серий был выполнен сравнительный анализ параметров энергопотребления для двух типов домов: серии 1-447 (с кирпичными стенами) и серии 93 (с панельными стенами). Для обеспечения достоверности результатов сравнение проводилось за одинаковый временной период, что позволило исключить влияние климатических факторов на показатели энергопотребления (табл. 2, 3).

Таблица 2. Потребление тепловой энергии на отопление и водоснабжение многоквартирных домов серии 1-447 за 2018 г., Гкал

Table 2. Thermal energy consumption for heating and hot water supply in 1-447 series apartment buildings in 2018, Gcal

Среднемесячная температура наружного воздуха, °C	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июн.	Июл.	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.
Адрес	-13	-7	-4	3	8,5	13,5	13	11,5	9,8	2	-3	-4
пр-т. Троицкий, д. 159	68,85	75,92	56,78	55,52	47,19	22,18	6,74	5,44	6,25	21,86	45,84	49,62
пр-т. Троицкий, д. 182	55,97	60,03	48,11	47,70	40,81	22,14	9,65	7,80	7,27	20,91	40,83	42,87
пр-т. Троицкий, д. 157	88,27	83,33	69,60	64,86	38,81	12,46	11,71	11,19	24,44	63,81	75,18	72,83
ул. Гагарина, д. 9	91,67	81,43	64,07	58,97	27,20	8,92	6,56	7,66	24,08	49,73	68,33	68,54
ул. Розы Шаниной, д. 6	116,71	127,31	96,25	97,95	87,46	50,18	14,81	20,45	14,81	43,73	87,51	97,38

Таблица 3. Потребление тепловой энергии на отопление и водоснабжение многоквартирных домов серии 93 за 2019 г., Гкал

Table 3. Thermal energy consumption for heating and hot water supply in 93 series apartment buildings in 2019, Gcal

Среднемесячная температура наружного воздуха, °C	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июн.	Июл.	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.
Адрес	-13	-7	-4	3	8,5	13,5	13	11,5	9,8	2	-3	-4
ул. Садовая, д. 2, корп. 1	87,92	111,40	101,28	76,49	43,18	7,33	8,70	6,73	16,12	75,57	67,67	86,44
ул. Суворова, д. 16	78,29	96,36	86,36	65,33	34,70	9,33	7,53	7,37	11,82	54,90	66,03	80,86
ул. Садовая, д. 12	167,64	209,33	184,59	141,72	79,12	24,30	34,13	19,40	32,27	118,56	138,37	175,35
пр-т. Троицкий, д. 166	114,70	140,10	125,29	94,50	52,73	13,45	11,61	11,77	18,28	76,86	89,72	109,46
ул. Вологодская, д. 1	132,26	155,63	141,25	108,75	61,84	17,66	15,77	17,76	22,79	90,16	104,65	126,99

Расчеты класса энергоэффективности для многоквартирных домов в заданном времен-

ном периоде показали противоречивые результаты.

Диаграммы потребления тепловых ресурсов с советующими рассчитанными классами

энергоэффективности МКД представлены на рис. 3 и 4.

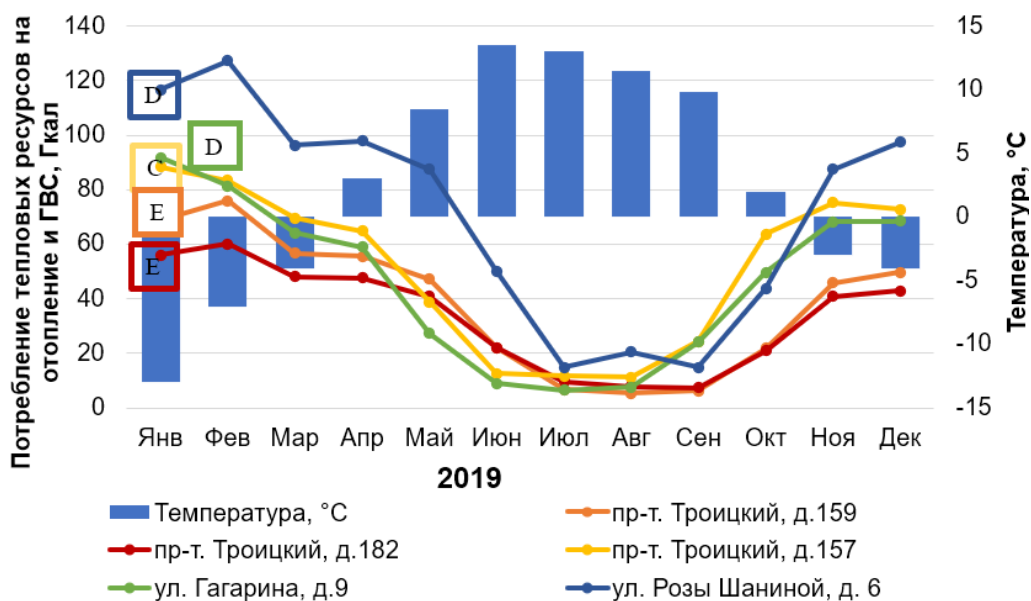


Рис. 3. Потребление ресурсов многоквартирными домами серии 93 (панельный) за 2019 г.
Fig. 3. Resource consumption in series 93 apartment buildings (panel construction) in 2019

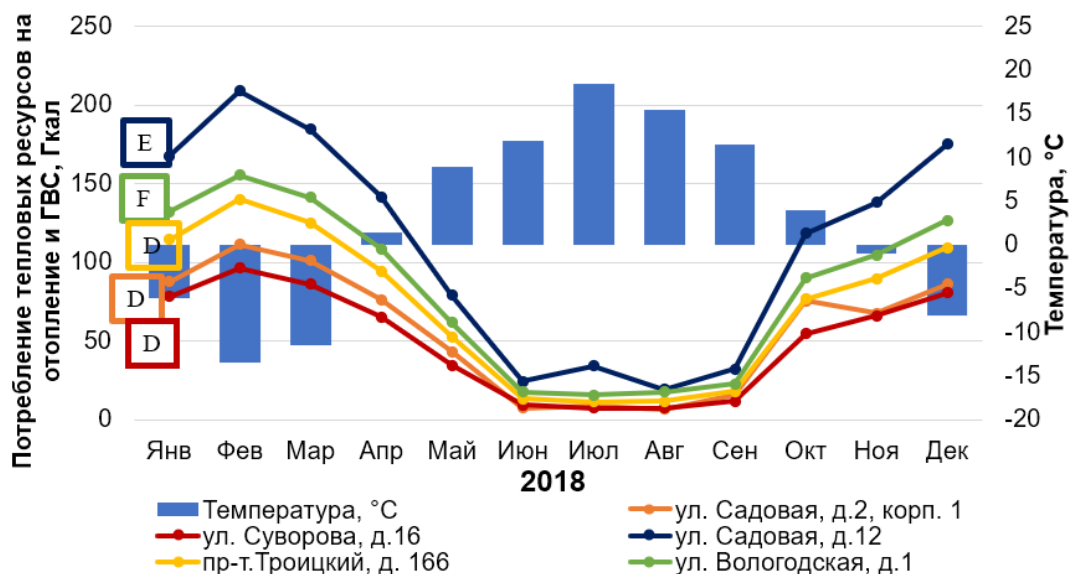


Рис. 4. Потребление ресурсов многоквартирными домами серии 1-447 (кирпичный) за 2018 г.
Fig. 4. Resource consumption in series 1-447 apartment buildings (brick construction) in 2018

Для обеих серий домов наблюдается разброс в классах энергоэффективности. Это свидетельствует о том, что типизация зданий для целей планирования энергоэффективного капитального ремонта на основе только серии и года ввода объекта в эксплуатацию невозможна.

Таким образом, подбор типового пакета энергосберегающих мероприятий для класса домов, сформированного исключительно на основании архитектурно-строительных и конструктивных характеристик, может не привести

к желаемому эффекту экономии ресурсов.

Исследование энергоэффективности жилищного фонда проводилось на основе данных журналов учета тепловой энергии за различные временные периоды.

Анализ потребления тепловых ресурсов и оценка класса энергоэффективности многоквартирных домов с учетом климатических факторов были выполнены для домов серий 93, 1-447С, 1-335 и 1-464.

Для анализа использовались данные приборов учета тепловой энергии на отопление и

горячее водоснабжение за три года (2017–2019 гг.). Среднемесячные температуры за указанный период были определены на основе архивных данных гидрометцентра.

Результаты оценки зависимости класса

энергоэффективности многоквартирных домов от климатических факторов представлены в виде диаграммы, отражающей связь между потреблением тепловых ресурсов и климатическими условиями (рис. 5).

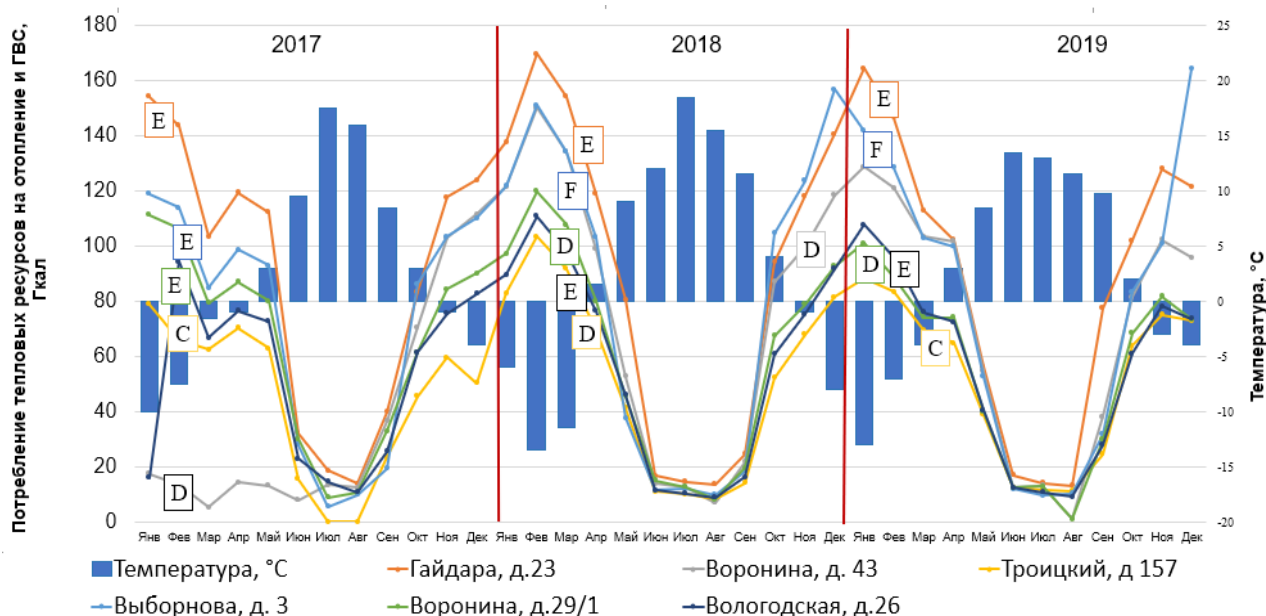


Рис. 5. Потребление тепловых ресурсов относительно климатических факторов для различных серий многоквартирных домов

Fig. 5. Thermal resource consumption in relation to climatic factors for various apartment building series

На рис. 6 показана динамика изменения класса энергоэффективности согласно фактическим данным потребления ресурсов.

Результаты исследования показали, что класс энергетической эффективности многоквартирных домов варьируется от года к году в зависимости от изменения среднемесячной

температуры наружного воздуха. Другие климатические параметры, такие как перепады температуры, осадки, скорость ветра и т. д., в расчетах не учитывались. Предположительно, такие колебания могут быть связаны с изменением объемов подачи тепловых ресурсов в зависимости от погодных условий.

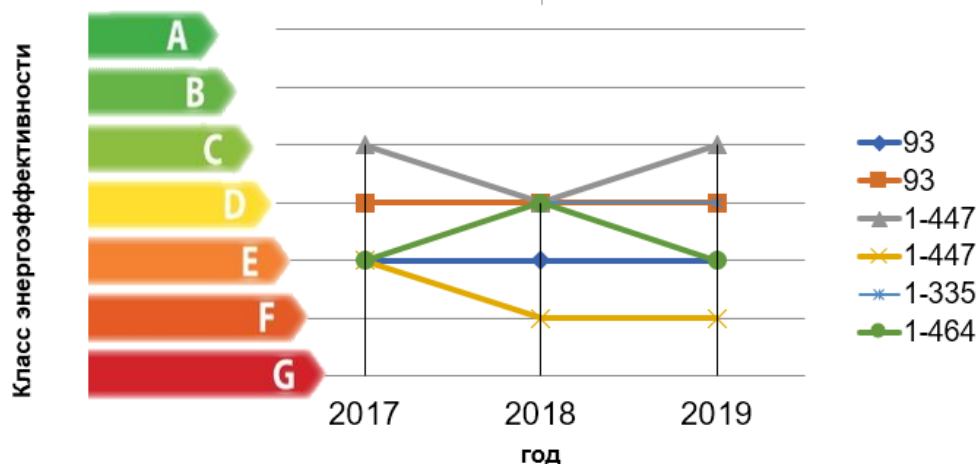


Рис. 6. Класс энергоэффективности зданий в зависимости от климатических условий

Fig. 6. Building energy efficiency class depending on climatic conditions

Таким образом, показатели энергоэффективности отдельных объектов жилищного фонда, которые были определены в разные временные периоды, не могут быть сопоставимы и объединены в однородные группы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование комплексных программ капитального ремонта должно соответствовать современным требованиям организационно-технологического проектирования.

Учет и улучшение параметров энергоэффективности жилья в рамках капитальных ремонтов является целесообразным и необходимым. Однако разработка эффективных программ капитального ремонта невозможна без систематического мониторинга жилищного фонда.

Исследования показали, что энергетические характеристики жилищного фонда отличаются значительным разнообразием. Даже серийные здания имеют специфические особенности, которые не позволяют классифицировать их только по одному или двум признакам.

Гипотеза о возможности классификации многоквартирных домов типовых серий исключительно на основе архитектурно-строительной и конструктивной схожести не подтвердилась. Для определения совокупности целесообразных работ необходимо расширить перечень показателей энергоэффективности, которые позволят выявить причины низкой эффективности и потенциальные возможности для ее повышения.

Рекомендуется включить в перечень характеристик энергоэффективности многоквартирных домов следующие параметры [5, 6, 9, 12–27]:

- удельный среднемесячный показатель потребления тепловой энергии при установленной среднемесячной температуре наружного воздуха;

- температуру внутреннего воздуха помещений или качественные характеристики объектов (на основе анализа заявок жильцов или результатов опросов);

- теплопроводность ограждающих конструкций (при выявлении отклонений от средних показателей по аналогичным объектам);

- воздухопроницаемость ограждающих конструкций (при выявлении отклонений от средних показателей по аналогичным объектам);

- рекомендуемые виды работ и мероприятий по повышению энергоэффективности здания и др.

Эти характеристики тесно взаимосвязаны и взаимодействуют между собой, определяя как текущее, так и потенциальное энергопотребление. Без глубокого анализа динамики и взаимосвязей этих параметров невозможно точно оценить реальные энергетические характеристики здания. Это приводит к значительной неопределенности в прогнозировании и оптимизации энергоэффективности.

Для достижения оптимальных результатов необходимо учитывать все факторы в их совокупности, что позволит минимизировать риски и повысить точность расчетов.

Формирование типовых программ ремонта зданий должно основываться на фундаментальном методическом подходе к классификации объектов с использованием многофакторных моделей и современных методов обработки больших массивов данных [8–11]. Только комплексный учет всех характеристик энергоэффективности в сочетании с перечнем целесообразных работ по энергоэффективному капитальному ремонту для каждого обследованного объекта позволит провести многокритериальную оценку эффективности отдельных или комплексных (пакетных) технологических решений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Борисов К.Б. Анализ факторов, влияющих на повышение энергоэффективности многоквартирных домов с учетом территориально-климатических различий. Ч. 1. // Энергосбережение. 2024. № 4. С. 44–51. EDN: KPQOWD.
2. Борисов К.Б. Анализ факторов, влияющих на повышение энергоэффективности многоквартирных домов с учетом территориально-климатических различий. Ч. 2. // Энергосбережение. 2024. № 5. С. 30–37. EDN: MQEIQV.
3. Лапидус А.А., Экба С.И., Билонда Трегубова Е., Кормухин С.А. Методика типизации многоквартирных домов, подлежащих капитальному ремонту общего имущества // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2023. № 2 (770). С. 56–64. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2023-770-2-56-64>. EDN: YYOZGE.
4. Экба С.И., Трегубова Е.Б., Кормухин С.А. Основные факторы, влияющие на выбор организационно-технологических решений при капитальном ремонте жилых домов // Строительное производство. 2023. № 4. С. 83–87. https://doi.org/10.54950/26585340_2023_4_83. EDN: RQDDOH.
5. Alghanmi A., Yunusa-Kaltungo A., Edwards R.E. Investigating the Influence of Maintenance Strategies on

- Building Energy Performance: A Systematic Literature Review // *Energy Reports*. 2022. Vol. 8. P. 14673–14698. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.10.441>.
6. Papadopoulos S., Kontokosta C.E. Grading Buildings on Energy Performance Using City Benchmarking Data // *Applied Energy*. 2019. Vol. 233–234. P. 244–253. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.053>.
7. Cuerda E., Guerra-Santin O., Sendra J.J., Neila J. Understanding the Performance Gap in Energy Retrofitting: Measured Input Data for Adjusting Building Simulation Models // *Energy and Buildings*. 2020. Vol. 209. P. 1–26. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109688>.
8. Ribeiro M., Singh S., Guestrin C. “Why Should I Trust You?”: Explaining the Predictions of Any Classifier // *Proceedings of the 2016 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Demonstrations*. 2016. P. 97–101. <https://doi.org/10.18653/v1/N16-3020>.
9. Cheng Fan, Fu Xiao, Yang Zhao A Short-Term Building Cooling Load Prediction Method Using Deep Learning Algorithms // *Applied Energy*. 2017. Vol. 195. P. 222–233. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.064>.
10. Попова О.Н. Применение самоорганизующихся карт (SOM) для анализа жилищного фонда при его комплексном воспроизводстве // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2013. № 10 (81). С. 171–178. EDN: RGSXVJ.
11. Попова О.Н., Глебова Ю.М. Энергетическая устойчивость жилой застройки как критерий комплексной оценки энергосистемы города // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2018. № 3 (66). С. 7–18. <https://doi.org/10.18720/CUBS.66.1>. EDN: XTYVNR.
12. Bashmakov I., Myshak A., Bashmakov V., Borisov K., Dzedzichek M., Lunin A. et al. Compact Meta-Models To Estimate The Effects Of Energy Efficiency Policies And Measures // *Energy Efficiency*. 2024. Vol. 17. Iss. 5. P. 1–45. <https://doi.org/10.1007/s12053-024-10222-z>. EDN: VQSIHG.
13. Фролова А.А., Лухменев П.И. Расчет уровня энергетически целесообразной теплозащиты // *Вестник МГСУ*. 2023. Т. 18. № 1. С. 82–90. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2023.1.82-90>. EDN: XOHDAI.
14. Kavousian A., Rajagopal R., Fischer M. Determinants of Residential Electricity Consumption: Using Smart Meter Data to Examine The Effect of Climate, Building Characteristics, Appliance Stock, and Occupants' Behavior // *Energy*. 2013. Vol. 55. P. 184–194. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.086>.
15. Дацюк Т.А., Уляшева В.М., Пухгал В.А., Верховский А.А. Влияние удельной вентиляционной характеристики офисных зданий на энергопотребление // *Вестник гражданских инженеров*. 2024. № 1 (102). С. 73–83. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2024-21-1-73-83>. EDN: KKUPHF.
16. Пухгал В.А., Шкаровский А.Л., Черненко В.П., Кобзарь А.В. Теплопотребление жилых зданий на отопление и вентиляцию в процессе эксплуатации // *Вестник гражданских инженеров*. 2023. № 1 (96). С. 103–110. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2023-20-1-103-110>. EDN: VABXVT.
17. Borgstein E.H., Lamberts R., Hensen J.L.M. Evaluating Energy Performance in Non-Domestic Buildings: A Review // *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 128. P. 734–755. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.018>.
18. de Wilde P. The Gap between Predicted and Measured Energy Performance of Buildings: A Framework for Investigation // *Automation in Construction*. 2014. Vol. 41. P. 40–49. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.009>.
19. Chung W. Using the Fuzzy Linear Regression Method to Benchmark the Energy Efficiency of Commercial Buildings // *Applied Energy*. 2012. Vol. 95. P. 45–49. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.01.061>.
20. Wu Xuchao, Priyadarsini R., Lee Siew Eang Benchmarking Energy Use and Greenhouse Gas Emissions in Singapore's Hotel Industry // *Energy Policy*. 2010. Vol. 38. Iss. 8. P. 4520–4527. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.04.006>.
21. Xuefeng Gao, Malkawi A. A New Methodology for Building Energy Performance Benchmarking: An Approach Based on Intelligent Clustering Algorithm // *Energy and Buildings*. 2014. Vol. 84. P. 607–616. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.08.030>.
22. Papadopoulos S., Bonczak B., Kontokosta C.E. Pattern Recognition in Building Energy Performance Over Time Using Energy Benchmarking Data // *Applied Energy*. 2018. Vol. 221. P. 576–585. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.079>.
23. Ливчак В.И. Фактическое теплопотребление зданий как показатель качества и надежности проектирования // *АВОК*. 2009. № 2. С. 4–13.
24. Ливчак В.И. Об экспериментальной оценке показателя энергоэффективности многоквартирных зданий // *Энергосбережение*. 2018. № 5. С. 32–37. EDN: XTFCNF.
25. Лобов О.И., Ананьев А.И., Рымаров А.Г. Основные причины несоответствия фактического уровня тепловой защиты наружных стен современных зданий нормативным требованиям // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 11. С. 67–71. EDN: XACMYN.
26. Дацюк Т.А., Гримитлин А.М. Влияние воздухопроницаемости ограждающих конструкций на энергопотребление жилых зданий // *Вестник гражданских инженеров*. 2017. № 6 (65). С. 182–187. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2017-14-6-182-187>. EDN: YPNFSZ.
27. Куриленко Н.И., Давлятчин Р.Р., Шалагин И.Ю. Воздухопроницаемость как составляющая удельного расхода на отопление и вентиляцию зданий // *Актуальные проблемы строительства, экологии и*

REFERENCES

1. Borisov K.B. Analysis of the Factors Influencing the Increase in Energy Efficiency of Apartment Buildings, Taking Into Account Territorial and Climatic Differences. P. 1. *Energy Saving Technologies*. 2024;4:44-51. (In Russ.). EDN: KPQOWD.
2. Borisov K.B. Analysis of the Factors Influencing the Increase in Energy Efficiency of Apartment Buildings, Taking Into Account Territorial and Climatic Differences. P. 2. *Energy Saving Technologies*. 2024;5:30-37. (In Russ.). EDN: MQEIQV.
3. Lapidus A.A., Ekba S.I., Tregubova E.B., Kormukhin S.A. Method of Typification of Multi-Apartment Residential Houses Subject To Overhaul of Common Property. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2023;2(770):56-64. (In Russ.). <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2023-770-2-56-64>. EDN: YYOZGE.
4. Ekba S.I., Bilonda Tregubova E., Kormukhin S.A. The Main Factors Influencing the Choice of Organizational and Technological Solutions for the Overhaul of Residential Buildings. *Construction Production*. 2023;4:83-87. (In Russ.). https://doi.org/10.54950/26585340_2023_4_83. EDN: RQDDOH.
5. Alghanmi A., Yunusa-Kaltungo A., Edwards R.E. Investigating the Influence of Maintenance Strategies on Building Energy Performance: A Systematic Literature Review. *Energy Reports*. 2022;8:14673-14698. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.10.441>.
6. Papadopoulos S., Kontokosta C.E. Grading Buildings on Energy Performance Using City Benchmarking Data. *Applied Energy*. 2019;233–234:244-253. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.053>.
7. Cuerda E., Guerra-Santin O., Sendra J.J., Neila J. Understanding the Performance Gap in Energy Retrofitting: Measured Input Data for Adjusting Building Simulation Models. *Energy and Buildings*. 2020;209:1-26. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109688>.
8. Ribeiro M., Singh S., Guestrin C. "Why Should I Trust You?": Explaining the Predictions of Any Classifier. *Proceedings of the 2016 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Demonstrations*. 2016:97-101. <https://doi.org/10.18653/v1/N16-3020>.
9. Cheng Fan, Fu Xiao, Yang Zhao A Short-Term Building Cooling Load Prediction Method Using Deep Learning Algorithms. *Applied Energy*. 2017;195:222-233. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.064>.
10. Popova O.N. Using Self-Organizing Maps (SOM) For Housing Stock Analysis under Its Complex Reproduction. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2013;10(81):171-178. (In Russ.). EDN: RGSXVJ.
11. Popova O.N., Glebova Yu.M. Energy Sustainability of Residential Development as the Assessment Criterion of City Energy-System. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2018;3(66):7-18. (In Russ.). <https://doi.org/10.18720/CUBS.66.1>. EDN: XTYVNR.
12. Bashmakov I., Myshak A., Bashmakov V., Borisov K., Dzedzichek M., Lunin A. et al. Compact Meta-Models To Estimate The Effects Of Energy Efficiency Policies And Measures. *Energy Efficiency*. 2024;17(5):1-45. <https://doi.org/10.1007/s12053-024-10222-z>. EDN: VQSIHG.
13. Frolova A.A., Lukhmenov P.I. Calculation of the Level of Energy Efficient Heat Protection. *Monthly Journal on Construction and Architecture*. 2023;18(1):82-90. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2023.1.82-90>. EDN: XOHDAL.
14. Kavousian A., Rajagopal R., Fischer M. Determinants of Residential Electricity Consumption: Using Smart Meter Data to Examine The Effect of Climate, Building Characteristics, Appliance Stock, and Occupants' Behavior. *Energy*. 2013;55:184-194. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.086>.
15. Datsuk T.A., Ulyasheva V.M., Pukhkal V.A., Verhovskiy A.A. Influence of Specific Ventilation Characteristics of Office Buildings on Energy Consumption. *Bulletin of Civil Engineers*. 2024;1(102):73-83. (In Russ.). <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2024-21-1-73-83>. EDN: KKUPHF.
16. Pukhkal V.A., Shkarovskiy A.L., Chernenkov V.P., Kobzar A.V. Heat Consumption in Residential Buildings for Heating and Ventilation During Operation. *Bulletin of Civil Engineers*. 2023;1(96):103-110. (In Russ.). <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2023-20-1-103-110>. EDN: VABXVT.
17. Borgstein E.H., Lamberts R., Hensen J.L.M. Evaluating Energy Performance in Non-Domestic Buildings: A Review. *Energy and Buildings*. 2016;128:734-755. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.018>.
18. de Wilde P. The Gap between Predicted and Measured Energy Performance of Buildings: A Framework for Investigation. *Automation in Construction*. 2014;41:40-49. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.009>.
19. Chung W. Using the Fuzzy Linear Regression Method to Benchmark the Energy Efficiency of Commercial Buildings. *Applied Energy*. 2012;95:45-49. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.01.061>.
20. Wu Xuchao, Priyadarsini R., Lee Siew Eang Benchmarking Energy Use and Greenhouse Gas Emissions in Singapore's Hotel Industry. *Energy Policy*. 2010;38(8):45200-4527. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.04.006>.
21. Xuefeng Gao, Malkawi A. A New Methodology for Building Energy Performance Benchmarking: An Approach Based on Intelligent Clustering Algorithm. *Energy and Buildings*. 2014;84:607-616.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.08.030>.

22. Papadopoulos S., Bonczak B., Kontokosta C.E. Pattern Recognition in Building Energy Performance Over Time Using Energy Benchmarking Data. *Applied Energy*. 2018;221:576-585. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.079>.

23. Livchak V.I. The Actual Heat Consumption of Buildings as an Indicator of the Quality and Reliability of Design. *AVOK*. 2009;2:4-13. (In Russ.).

24. Livchak V.I. On The Experimental Assessment of the Energy Efficiency Index of Multi-Apartment Buildings. *Energy Saving Technologies*. 2018;5:32-37. (In Russ.). EDN: XTFCNF.

25. Lobov O.I., Ananiev A.I., Rymarov A.G. Main Reasons for Non-Compliance of Factual Level of Heat Protection of External Walls of Modern Buildings with Regulatory Requirements. *Industrial and Civil Engineering*. 2016;11:67-71. (In Russ.). EDN: XACMYN.

26. Datsyuk T.A., Grimitin A.M. The Effect of the Enclosing Structure Air Permeability Value on the Energy Consumption of Residential Building. *Bulletin of Civil Engineers*. 2017;6(65):182-187. (In Russ.). <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2017-14-6-182-187>. EDN: YPNFSZ.

27. Kurilenko N.I., Davlyatchin R.R., Shalagin I.Yu. Air Permeability as a Component of Specific Consumption for Heating and Ventilation of Buildings. In: *Aktual'nye problemy stroitel'stva, ekologii i energosberezheniya v usloviyakh Zapadnoi Sibiri. Sbornik materialov mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii v trekh tomakh = Actual Problems of Construction, Ecology and Energy Saving in Western Siberia. Collection of Materials of the International Scientific and Practical Conference in Three Volumes*. 15 April 2014, Tyumen. Tyumen; 2014. Vol. 2. p. 107-111. (In Russ.). EDN: QNVLMY.

Информация об авторах

Попова Ольга Николаевна,

к.т.н., доцент,
заведующий кафедрой автомобильных дорог
и строительного производства,
Северный (Арктический) федеральный
университет имени М.В. Ломоносова,
163002, г. Архангельск, набережная Северной
Двины, 17, Россия,
✉ e-mail: oly-popova@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8202-115X>
Author ID: 714513

Шошина Алена Алексеевна,

старший преподаватель кафедры
автомобильных дорог и строительного
производства,
Северный (Арктический) федеральный
университет им. М.В. Ломоносова,
163002, г. Архангельск, набережная
Северной Двины, 17, Россия,
e-mail: shosina98@gmail.com

Юдина Антонина Федоровна,

д.т.н., профессор, профессор кафедры
организации строительного производства,
Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
190005, г. Санкт-Петербург,
ул. 2-я Красноармейская ул., 4,
Россия,
e-mail: yudinaantonina2017@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6543-6831>
Author ID: 487030

Information about the authors

Olga N. Popova,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Head of the Department of Highways
and Construction Production,
Northern (Arctic) Federal University
named after M.V. Lomonosov,
17, Severnaya Dvina Emb., Arkhangelsk 163002,
Russia,
✉ e-mail: oly-popova@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8202-115X>
Author ID: 714513

Alena A. Shoshina,

Senior Lecturer of the Department
of Highways and Construction Production,
Northern (Arctic) Federal University
named after M.V. Lomonosov,
17, Severnaya Dvina Emb.,
Arkhangelsk 163002,
Russia,
e-mail: shosina98@gmail.com

Antonina F. Yudina,

Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Professor of the Department of Construction
Technology,
Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
4, 2nd Krasnoarmeiskaya St., Saint Petersburg,
190005, Russia,
e-mail: yudinaantonina2017@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6543-6831>
Author ID: 487030

Симанкина Татьяна Леонидовна,
к.т.н., доцент,
доцент Высшей школы гидротехнического
и энергетического строительства,
Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого,
195251, г. Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, д. 29 литера Б, Россия,
e-mail: simankina_tl@spbstu.ru
[https://orcid.org/ 0000-0002-2496-9823](https://orcid.org/0000-0002-2496-9823)
Author ID: 659002

Tatyana L. Simankina,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Higher School
of Hydraulic and Power Engineering Construction,
Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic
University,
29B Polytechnicheskaya St., Saint Petersburg
195251, Russia,
e-mail: simankina_tl@spbstu.ru
[https://orcid.org/ 0000-0002-2496-9823](https://orcid.org/0000-0002-2496-9823)
Author ID: 659002

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests
regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and
approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 28.01.2025.
Одобрена после рецензирования 06.02.2025.
Принята к публикации 07.02.2025.

Information about the article

The article was submitted 28.01.2025.
Approved after reviewing 06.02.2025.
Accepted for publication 07.02.2025.



Современное представление этапов жизненного цикла объекта капитального строительства

А.Ю. Сколубович^{1✉}, А.С. Евдокименко²

^{1,2}Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), Новосибирск, Россия

Аннотация. В статье проанализированы цели и задачи, стоящие перед принятием управленческих решений на всех стадиях жизненного цикла объекта. Подробно исследовано понятие жизненного цикла, даны отличительные характеристики. Обозначены современные концептуальные подходы к работе с жизненным циклом объекта недвижимости. Представлены актуальные аспекты повышения эффективности управления жизненным циклом объектов капитального строительства, важнейшая функция которых заключается в обеспечении безопасной и благоприятной среды обитания граждан, содействии при выполнении приоритетных задач государства, в числе которых модернизация экономики, повышение ее эффективности и конкурентоспособности, долгосрочное устойчивое развитие. Проанализированы структура жизненного цикла объекта и каждый его этап: временные периоды, в течение которых осуществляются инженерные изыскания, архитектурно-строительное проектирование и прохождение экспертизы, строительство и ввод в эксплуатацию, эксплуатация и текущие ремонты, реконструкция, капитальный ремонт, снос и утилизация объекта капитального строительства (ликвидация – для производственных объектов). Охарактеризована стоимостная группа готового объекта недвижимости. Дано объективное описание экономического срока жизни объекта недвижимости. Определены стратегии развития управления недвижимостью. Раскрыты тактические подходы ко всем стадиям жизненного цикла, касающиеся взаимодействия управленческих решений на каждой из стадий.

Ключевые слова: жизненный цикл объекта недвижимости, задачи управления недвижимостью, стратегия развития объекта недвижимости, управление недвижимостью, тактика принятий решений по управлению объектами недвижимости

Для цитирования: Сколубович А.Ю., Евдокименко А.С. Современное представление этапов жизненного цикла объекта капитального строительства // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 1. С. 110–118. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-110-118>. EDN: IVJCVC.

Original article

Modern view on life-cycle stages of capital construction objects

Alexandr Yu. Skolubovich^{1✉}, Alexandr S. Evdokimenko²

^{1,2}Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk, Russia

Abstract. This paper analyzes aims and objectives requiring management decisions at all life-cycle stages of a construction object. The concept of life cycle is elucidated, and its distinctive characteristics are given. Modern conceptual approaches to working with the life cycle of a real estate property are presented. The paper also presents topical aspects of improving the efficiency of life-cycle management of capital construction objects, the main function of which consists in providing safe and citizen-friendly environment as well as assisting the government in fulfilling its priority tasks. These tasks include modernization of the economy, improvement of its efficiency and competitiveness, and long-term sustainable development. The life-cycle structure of an object and each life-cycle stage are analyzed: time periods during which engineering works are made; architectural design and passing an examination; construction and start-up; operation and maintenance; reconstruction; total building renovation; demolition and utilization of a capital construction object (liquidation for production sites). The cost range of a finished property

is observed. An objective description of the economic life of a real estate property is given. Development strategies in the field of real estate management are identified. Tactical approaches to all stages of the life cycle concerning the interaction of management decisions at each stage are described.

Keywords: the life cycle of a real estate object, real estate management tasks, real estate development strategy, real estate management, tactics of decision-making on real estate management

For citation: Skolubovich A.Yu., Evdokimenko A.S. Modern view on life-cycle stages of capital construction objects. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(1):110-118. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-110-118>. EDN: IVJCVC.

ВВЕДЕНИЕ

Управленческая деятельность определяется целями, которые ставит перед собой собственник. Они могут изменяться в зависимости от ряда факторов и причин (материальные, личные, экономические, политические и т. п.), которые могут оказывать свое влияние вплоть до окончания жизненного цикла объекта. Конечная оценка стоимости объекта непосредственно связана с собственником, его возможностями, желаниями, целями, взглядами и ситуациями, в которых он оказывается.

Во главе всех целей находится материальная составляющая, именно она направлена на получение максимальной полезности (в том числе финансовой) от эксплуатации объекта и его использования на максимум.

Стоит отметить, что выделяют несколько целей, связанных с получением максимальной прибыли:

1. Инфляционная защита, которая происходит за счет удорожания объекта строительства на предполагаемый уровень инфляции будущих периодов.

2. Спекулятивные инвестиции связаны с процессами перепродажи объекта в момент пика его стоимости.

3. Функциональные инвестиции связаны с перепродажей объекта в определенный промежуток временного интервала, после ввода в эксплуатацию, для получения максимального дохода [1, 17].

Перед федеральными и региональными органами власти Правительство Российской Федерации ставит задачи, связанные с повышением энергоэффективности эксплуатации многоквартирных домов, экономическим и социальным развитием сферы жилищного строительства и эксплуатации, модернизацией городской инфраструктуры и внедрением современных технологий в сферу водопроводного хозяйства. Данные распоряжения распространяются на организации, состоящие в партнерстве с Международной ассоциацией фондов жилищного строительства и ипотечного кредитования. Для решения поставленных задач можно воспользоваться стадиями жизненного цикла. Это позволит отметить недостающие шаги или этапы, влияющие на конечную стоимость объекта. Данные мероприятия обладают компенсирующим свойством, позволяющим восполнять потраченные средства за период этапа эксплуатации. Описание жизненного цикла объекта представлено в табл. 1 [4, 15].

Таблица 1. Описание стадий жизненного цикла объекта строительства [18]

Table 1. Description of the stages of the life cycle of the construction object [18]

Стадии жизненного цикла	Описание
Идея	Этап предпроектной стадии и проектирование объекта
Строительство	Расчетная часть строительно-монтажных работ с учетом энергоэффективных мероприятий
Эксплуатация	Предусматривает все аспекты эксплуатации объекта по его прямому назначению с учетом обслуживания коммуникаций
Ремонт	Продление жизненного цикла объекта, связанное с мероприятиями по восстановлению, реконструкции и капитальными ремонтными работами
Утилизация	После окончания срока эксплуатации предусматривает работы по сносу или переработки объекта с дальнейшим применением полученных материалов

МЕТОДЫ

Более детальное изучение вопроса о жизненных циклах приводит к одному из механизмов государственно-частного партнерства – контрактам жизненного цикла. Особенность

этого механизма заключается в управлении стоимостных групп затратной части объекта. Данные затратные части распространены на каждом этапе жизненного цикла непосредственного объекта. Такое внимание к затратам

позволяет экономической части применять более перспективные и инновационные экономические модели и механизмы в современных реалиях развития строительной сферы и жилищного хозяйства в целом [13].

Технологии постоянно развиваются, модернизируются и всячески улучшаются для более удобного обращения. Технологический прогресс, несмотря на все удобства и стремление к оптимизации работ, способствует некоторому удорожанию конечного результата объекта, но благодаря такому исходу можно быть более конкурентными на рынке, занять более устойчивую позицию в своей нише и реализовать самые смелые идеи, замыслы и технологические цели. Однако применение в процессе строительства объекта решений, связанных с проектами по энергоэффективности, способны нарушить некий баланс стоимости и направить его в сторону снижения итоговой стоимости объекта. Соответственно, можно наблюдать тенденцию роста стоимости на непосредственном рынке недвижимости за счет таких энергоэффективных технологий.

С точки зрения социального характера взаимодействия на экономическую составляющую объекта, можно сделать вывод, что во главе всех характеристик от эксплуатации объекта по его прямому назначению находится престиж и его повышение, имидж, высокий статус объекта, а также его реализация как бизнеса или бизнес-пространства. Формирование целей на эксплуатацию и владение объектом недвижимости формируются исходя из связей стадий жизненного цикла [2, 5, 19].

Отечественные рынки являются двигателями прогресса, где главной задачей является распространение товаров и услуг той или иной сферы. Внедрение и развитие рыночных инструментов в экономику демонстрирует непосредственную связь между владением товара, его применением (использованием) и оказанием некоторых услуг, влияющих на этапы жизненного цикла (например, электротехника, автомобилестроение и т. д.). Похожая ситуация с экономическими механизмами складывается в сферах строительства, рынка недвижимости и коммунального водоснабжения.

Сфера строительства, наравне с коммунальным водоснабжением, является жизненно важной. Наиболее значимыми этапами жизненного цикла данных сфер являются проектирование, строительство и эксплуатация. Эти ключевые стадии требуют к себе особого внимания и отношения, поэтому так важно обращать внимание на развитие экономической мысли и ставить ее уже выше стадии развития, минуя становление [21].

Современные ученые в области экономики и инженерии во время совместной работы над проектами пришли к выводу о системе тройственных союзов разных классов общества и органов власти. Союз между потребителями, которые способны дать здравую критику и указать на проблемные зоны, государственными и муниципальными органами управления. В их число также входят муниципальные службы, способные на быстрое реагирование в устранении неполадок, и частный бизнес – внедрение современных технологий в работу, привлечение инвестиционных потоков из различных источников. В результате получается, что центром экономических взглядов является итоговая стоимостная группа суммы всех этапов реализации жизненного цикла объекта недвижимости, вопреки всем прогнозам о локальных ценовых категориях на каждый вид оказанных услуг в процессе реализации объекта.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Понятие жизненный цикл можно рассмотреть с разных точек зрения. Особое внимание следует уделить двум ключевым сторонам, которые характеризуют его с наибольшей перспективой.

С одной стороны, жизненный цикл объекта недвижимости раскрывается в нескольких фазах, ключевые из которых: возведение, эксплуатация и утилизация. Данный взгляд не совсем понятен и не в полной мере раскрывает ключевые цели, задачи и препятствия, с которыми предстоит столкнуться в процессе реализации проекта, что может повлечь некоторые трудности перед ведущим специалистом проекта или собственником.

Другая сторона включает более подробные и раскрытые стадии определения жизненного цикла. Она уместает в себе идею, развитие территорий, предпроектную стадию, обсуждение, проектирование, корректировку, строительство, инженерию, эксплуатацию, ремонт, реставрацию и утилизацию. Каждая из представленных стадий важна и раскрывает цели и задачи предстоящих работ [3, 20].

Рассматривая каждую стадию более подробно можно охарактеризовать их следующим образом:

1. Идея и развитие территорий представляют самое начало проекта. Особенностью и интересом этой стадии становится «вызов» для команды, т. к. необходимо совместить множество архитектурных взглядов с амбициями и новыми технологиями, но при этом не выйти за рамки общей городской концепции.

2. Предпроектная стадия и обсуждение предусматривает тактический подход к решению некоторых задач: участие в приобретении

и сопровождение по оформлению собственности на подходящий по всем параметрам земельный участок, обсуждение и конкретизация целей эксплуатации участка и планируемого объекта, определение вектора стратегического развития и его перспективные направления эксплуатации, юридическое сопровождение, мероприятия по обеспечению привлекательности объекта, его окупаемости и привлечению инвестиций, в том числе иностранных. Также задачи по проектному обеспечению включают в себя архитектурные решения, инженерные подходы, составление и реализацию дорожной карты, контроль и надзор за проектированием, обеспечение и наблюдение за финансовыми потоками [7, 14].

3. Проектирование и корректировка. Рассматриваются сроки выполнения определенных видов работ, составляется стратегический план последовательных действий, взаимосвязанный с календарным планом выполнения работ в полном его объеме, применение экономических механизмов, нацеленных на комплексное снижение издержек по всем видам работ, услуг и материалов, работы по минимизации сроков строительства путем проведения мероприятий, связанных с объединением или упрощением графика выполнения работ, создается сильная рекламная компания, нацеленная на повышение привлекательности среди всех слоев населения (клиентоориентированность) готового объекта еще на стадии его возведения [12].

4. Строительство и инженерия. Реализация одной из ключевых стадий подразумевает решение следующих задач: установление сроков выполнения работ, составление календарного графика, контроль качества выполнения строительно-монтажных работ, контроль соблюдения всех норм и правил организации и выполнения работ, маркетинговая ориентация спроса на готовый объект и его реализация на рынке.

Выполняя тактические задачи для данной стадии, следует учитывать следующие задачи: поиск и наем квалифицированной подрядной организации, соответствующий контроль и надзор за ходом выполнения строительно-монтажных работ на соответствие их качеству, передерживание заранее оговоренных и утвержденных проектных решений [6, 11].

5. Эксплуатация и ремонт. Самая амбициозная стадия. Она предусматривает процессы совершенствования и модернизации, в основе которых заложена максимизация прибыли от процесса эксплуатации объекта, минимизация

издержек в процессе эксплуатации в части ремонтных работ и обслуживании технических составляющих здания. От технического состояния объекта зависит его привлекательность, поэтому очень важно поддерживать все механические, электрические и цифровые приборы в надлежащем состоянии, в том числе конструкции, инженерные и водопроводные сети, системы безопасности и охраны, системы дезинфекции и процессы уборки помещений. Развитие объекта предполагает максимизацию прибыли владельца объекта, в основе мероприятий по реконструкции и модернизации объекта, связанной с неудовлетворительным качеством оказываемых услуг и внешней привлекательности объекта.

6. Реставрация и утилизация. Качество любого объекта недвижимости должно сопровождаться его соответствующим внешним видом. В процессе непрерывной эксплуатации, а тем более продолжительной (более 10 лет), объект может потерять свой привлекательный внешний облик, что в дальнейшем повлечет снижение прибыли от спада на спрос, поэтому следует проводить периодическую модернизацию объекта.

На первый взгляд, данная стадия может показаться затратной, но при дальнейшей эксплуатации объекта она может быть не только рентабельной, но и более прибыльной, за счет продления жизненного цикла объекта. Но порой бывают моменты, которые способны навредить вековой постройке так, что подключится только процесс ликвидации или утилизации.

В таком случае решаются задачи, связанные с минимизацией затрат на проведение мероприятий по уничтожению, переработке и планированию дальнейшего применения территории и лома бывшего строительного материала.

Непосредственная стоимость объекта, с учетом всех проведенных работ, зависит от поставленной цели собственника объекта на каждой стадии жизненного цикла. Процесс эксплуатации способен формировать изначальную стоимость (сметную стоимость) объекта.

Вышеупомянутые стадии представлены на рисунке.

Задачи по оптимизации затрат и стоимости объекта строительства на каждом этапе жизненного цикла объекта представлены в табл. 2. Учитывая тот факт, что стадий жизненного цикла довольно много, справедливо утверждение о разнообразной стоимости на каждой стадии.



Стадии жизненного цикла объекта строительства [8]
Stages of the life cycle of the construction object [8]

Каждая из них представлена своими особенностями и нюансами, которые следует учитывать при выполнении работ. Например, на стадии идеи большая часть работ сводится к минимизации затрат на реализацию объекта, что способно сделать его более привлекатель-

ным для инвесторов. Далее, на стадиях строительства и эксплуатация уделяют особое внимание нормативной составляющей и техническому обеспечению, а также общему состоянию объекта в процессе его непрерывной эксплуатации [16].

Таблица 2. Задачи оптимизации стоимостной группы объекта на всех стадиях жизненного цикла [10]

Table 2. The tasks of optimizing the cost group of an object at all stages of the life cycle [10]

Цикл	Задачи
Идея	Минимальные сроки, привлекательность для потребителя, минимизация издержек
Проектирование	Оптимизация работы в соответствии с календарным планом, контроль затрат
Строительство	Соблюдение сроков, повышение качества выполненных работ, контроль за непредвиденными затратами, спрос на готовый объект
Эксплуатация	Функционирование, обеспечение доходов собственника, обслуживание всех систем, поддержание работоспособности, охрана
	Развитие, максимизация доходов владельца объекта, потребительская привлекательность, управление объектом в зависимости от изменений его функционала
Утилизация	Проведение работ по ликвидации объекта, минимизация затрат на проведение работ

Внимание к таким деталям при реализации объекта делает процесс его реализации гораздо проще.

Предусмотрительность к таким незначительным и вполне естественным деталям способствует прогнозированию крупных проблем,

их решению или недопущению, следовательно, тем самым минимизирует финансовые риски для инвесторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Увеличение итоговой цены готового объекта напрямую зависит от экспертной оценки, эксплуатационных характеристик, инвестиций собственных и привлеченных на всех стадиях жизненного цикла.

Немалую роль в ценообразовании играют экономические показатели на макроуровне, связанные с рынком недвижимости, инфраструктурным обеспечением, общеэкономическим состоянием ситуации и мировым финансовым рынком.

Не следует забывать и про экономический срок жизни объекта. Его продолжительность меньше, чем физический, но не менее значимый. Экономический срок жизни объекта можно продлевать по средствам постепенного увеличения стоимости реализованного объекта путем внедрения современных технологий, экологических материалов, внедрением

системы «умный дом» и т. д. Также есть вариант с мероприятиями по реконструкции и реставрации помещений и зданий в целом, модернизации фонда недвижимости [22]. Таким образом, цель собственника может измениться в сторону продления жизненного цикла и его увеличения в целом.

На этапе эксплуатации цель собственника может значительно поменяться в плане использования здания, исходя из масштабного анализа экономических, нормативных, законодательных и физических аспектов его дальнейшего использования.

Например, переоформление жилой недвижимости в нежилую с целью получения максимальной прибыли от эксплуатации [9].

Исходя из вышеизложенного, следует отметить, что этап утилизации может способствовать экономии средств собственника в связи с переработкой строительных отходов и дальнейшего их применения в различных областях. Это способствует развитию безотходного строительства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Евдокименко А.С., Евдокименко М.В., Шерстяков А.А., Сколубович А.Ю. Анализ рынка жилой недвижимости в Сибирском федеральном округе // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: экономика и право. 2024. № 2. С. 31–38. <https://doi.org/10.37882/2223-2974.2024.02.07>. EDN: CQPHSY.
2. Саргсян А.Д., Сколубович А.Ю. Развитие зеленой экономики в современных экономических условиях // Журнал монетарной экономики и менеджмента. 2024. № 4. С. 81–87. <https://doi.org/10.26118/2782-4586.2024.88.64.012>. EDN: NQKUZS.
3. Сколубович А.Ю. Мероприятия по совершенствованию механизма ценообразования на предприятиях жилищно-коммунального хозяйства // Актуальные вопросы архитектуры и строительства. Материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. (г. Новосибирск, 22–24 сентября 2020 г.). Новосибирск, 2020. С. 316–321. EDN: WIHEZU.
4. Сколубович А.Ю. Оценка социально-экономической эффективности в городском хозяйстве // Актуальные вопросы архитектуры и строительства. Материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. (г. Новосибирск, 22–24 сентября 2020 г.). Новосибирск, 2020. С. 327–331. EDN: YQJOXA.
5. Савина А.Г., Сколубович А.Ю. Выбор метода оценки рыночной стоимости земельного участка // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство. Сборник научных статей по итогам Пятой Международной научной конференции (г. Казань, 29 июня 2019 г.). Казань, 2019. С. 214–215. EDN: YVZDIU.
6. Сколубович А.Ю., Матвеева М.В. Разработка методики оценки готовности предприятий к государственно-частному партнерству в сфере коммунального водоснабжения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 2. С. 274–283. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-2-274-283>. EDN: PGGCJX.
7. Бобылев С.Н., Михайлова С.Н., Кирюшин П.А., Яковлева Е.Ю., Солодова М.А., Соловьева С.В. и др. Зеленая экономика и цели устойчивого развития для России. М.: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 2019. 284 с. EDN: UJDZTG.
8. Сколубович А.Ю., Романчук Н.В. Современное состояние государственно-частного партнерства в России // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2017. № 3-2 (33). С. 128–131. EDN: YHRCMR.
9. Варнавский В.Г. Государственно-частное партнерство: некоторые вопросы теории и практики // Мировая экономика и международные отношения. 2011. № 9. С. 41–50. EDN: OCRINP.
10. Skolubovich Yu., Skolubovich A., Voitov E., Soppa M., Chirkunov Yu. Cleaning Natural Water in The Clarifier Reactor // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 90. P. 1–6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/90/1/012107>.

11. Skolubovich Yu., Skolubovich A., Voitov E., Soppa M., Chirkunov Yu. Modeling of Water Lighting Process and Calculation of the Reactor-Clarifier to Improve Energy Efficiency // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 90. P. 1–7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/90/1/012028>.
12. Минц Д.М. Теоретические основы технологии очистки воды. М.: Стройиздат, 1964. 156 с.
13. Zahoor R.S., Bin Shakeel H., Munir M., Raza H. Assessment of Groundwater Quality for Drinking Purposes in Jhang City, Punjab // International Journal of Hydrology. 2022. Vol. 6. Iss. 5. P. 172–176. <https://doi.org/10.15406/ijh.2022.06.00323>.
14. Xianghong Che, Min Feng, Joe Sexton, Saurabh Channan, Qing Sun, Qing Ying et al. Landsat-Based Estimation of Seasonal Water Cover and Change in Arid and Semi-Arid Central Asia (2000–2015) // Remote Sensing. 2019. Vol. 11. Iss. 11. P. 1–15. <https://doi.org/10.3390/rs11111323>.
15. Cherinet A.A., Denghua Yan, Hao Wang, Xinshan Song, Tianlin Qin, Kassa M.T. et al. Climate Trends of Temperature, Precipitation and River Discharge in the Abbay River Basin in Ethiopia // Journal of Water Resource and Protection. 2019. Vol. 11. Iss. 10. P. 1292–1311. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2019.1110075>.
16. Ferguson H., Znamensky V. Methods of Computation of the Water Balance of Large Lakes and Reservoirs: A Contribution to The International Hydrological Programme (Studies and Reports in Hydrology). Methodology. Paris: UNESCO, 1981. Vol. 1. 122 p.
17. Sutcliffe J.V., Petersen G. Lake Victoria: Derivation of A Corrected Natural Water Level Series // Hydrological Sciences Journal. 2007. Vol. 52. Iss. 6. P. 1316–1321. <https://doi.org/10.1623/hysj.52.6.1316>.
18. Cherinet A.A., Denghua Yan, Hao Wang, Xinshan Song, Tianlin Qin, Kassa M.T. et al. Impacts of Recent Climate Trends and Human Activity on the Land Cover Change of the Abbay River Basin in Ethiopia // Advances in Meteorology. 2019. Vol. 2019. Iss. 1. P. 1–14. <https://doi.org/10.1155/2019/5250870>.
19. Tefera A.H. Application of Water Balance Model Simulation for Water Resource Assessment in Upper Blue Nile of North Ethiopia Using HEC-HMS by GIS and Remote Sensing: Case of Beles River Basin // International Journal of Hydrology. 2017. Vol. 1. Iss. 7. P. 222–227. <https://doi.org/10.15406/ijh.2017.01.00038>.
20. Wagener T., Sivapalan M., Troch P.A., McGlynn B.L., Harman C.J., Gupta H.V. et al. The Future of Hydrology: An Evolving Science for A Changing World // Water Resources Research. 2010. Vol. 46. Iss. 5. P. 1–10. <https://doi.org/10.1029/2009WR008906>.
21. Bracht-Flyr B., Istanbuluoglu E., Fritz S. A Hydro-Climatological Lake Classification Model and Its Evaluation Using Global Data // Journal of Hydrology. 2013. Vol. 486. P. 376–383. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.02.003>.
22. Taboada-Castro M.M., Rodríguez-Blanco M.L., Taboada-Castro M.T. Assessment of Seasonal Variations in Stream Water by Principal Component Analysis // ECOSUD-2007. Ecology and the Environment. 2007. Vol. 106. P. 1–10. <https://doi.org/10.2495/ECO070511>.

REFERENCES

1. Evdokimenko A.S., Evdokimenko M.V., Sherstyakov A.A., Skolubovich A.Y. Analysis of The Residential Real Estate Market in The Siberian Federal District. *Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series of Economics and Law*. 2024;2:31-38. (In Russ). <https://doi.org/10.37882/2223-2974.2024.02.07>. EDN: CQPHSY.
2. Sargsyan A.D., Skolubovich A.Yu. Development of The Green Economy in Modern Economic Conditions. *Journal of Monetary Economics and Management*. 2024;4:81-87. (In Russ). <https://doi.org/10.26118/2782-4586.2024.88.64.012>. EDN: NQKUZS.
3. Skolubovich A.Yu. Measures to Improve the Pricing Mechanism at Housing and Communal Services Enterprises. In: *Aktual'nye voprosy arhitektury i stroitel'stva. Materialy XIII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii = Current Issues in Architecture and Construction. Proceedings of The XIII International Scientific and Technical Conference*. 22–24 September 2020, Novosibirsk. Novosibirsk; 2020. p. 316–321. (In Russ.). EDN: WIHEZU.
4. Skolubovich A.Yu. Assessment of Socio-Economic Efficiency in Urban Economy. In: *Aktual'nye voprosy arhitektury i stroitel'stva. Materialy XIII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii = Current Issues in Architecture and Construction. Proceedings of The XIII International Scientific and Technical Conference*. 22–24 September 2020, Novosibirsk. Novosibirsk; 2020. p. 327–331. (In Russ.). EDN: YQJOXA.
5. Savina A.G., Skolubovich A.Ju. Selecting A Method for Assessing the Market Value of a Land Plot. In: *Peredovye innovacionnye razrabotki. Perspektivy i opyt ispol'zovaniya, problemy vnedreniya v proizvodstvo. Sbornik nauchnykh statej po itogam Pjatoj Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii = Advanced Innovative Developments. Prospects and Experience of Use, Problems of Implementation in Production. Collection of Scientific Articles Based on the Results of the Fifth International Scientific Conference*. 29 June 2019, Kazan. Kazan; 2019. p. 214–215. (In Russ.). EDN: YVZDIU.
6. Skolubovich A.Yu., Matveeva M.V. Development of A Methodology for Assessing the Readiness of Enterprises for Public-Private Partnership in The Field of Public Water Supply. *Proceedings of Universities*.

- Investment. Construction. Real estate*. 2019;9(2):274-283. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-2-274-283>. EDN: PGGCJX.
7. Bobylev S.N., Mihajlova S.N., Kirjushin P.A., Jakovleva E.Ju., Solodova M.A., Soloveva S.V. et al. *Green Economy and Sustainable Development Goals for Russia*. Moscow: Lomonosov Moscow State University, 2019. 284 p. (In Russ.). EDN: UJDZTG.
8. Skolubovich A.Yu., Romanchuk N.V. The Current State of Public-Private Partnerships in Russia. *Competitiveness in A Global World: Economics, Science, Technology*. 2017;3-2(33):128-131. (In Russ.). EDN: YHRCMR.
9. Varnavsky V.G. Public-Private Partnership: Some Issues of Theory and Practice. *World Economy and International Relations*. 2011;9:41-50. (In Russ.). EDN: OCRINP.
10. Skolubovich Yu., Skolubovich A., Voitov E., Soppa M., Chirkunov Yu. Cleaning Natural Water in The Clarifier Reactor. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017;90:1-6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/90/1/012107>.
11. Skolubovich Yu., Skolubovich A., Voitov E., Soppa M., Chirkunov Yu. Modeling of Water Lighting Process and Calculation of the Reactor-Clarifier to Improve Energy Efficiency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017;90:1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/90/1/012028>.
12. Mints D.M. *Theoretical Foundations of Water Purification Technology*. Moscow: Stroyizdat, 1964. 156 p. (In Russ.).
13. Zahoor R.S., Bin Shakeel H., Munir M., Raza H. Assessment of Groundwater Quality for Drinking Purposes in Jhang City, Punjab. *International Journal of Hydrology*. 2022;6(5):172-176. <https://doi.org/10.15406/ijh.2022.06.00323>.
14. Xianghong Che, Min Feng, Joe Sexton, Saurabh Channan, Qing Sun, Qing Ying et al. Landsat-Based Estimation of Seasonal Water Cover and Change in Arid and Semi-Arid Central Asia (2000–2015). *Remote Sensing*. 2019;11(11):1-15. <https://doi.org/10.3390/rs11111323>.
15. Cherinet A.A., Denghua Yan, Hao Wang, Xinshan Song, Tianlin Qin, Kassa M.T. et al. Climate Trends of Temperature, Precipitation and River Discharge in the Abbay River Basin in Ethiopia. *Journal of Water Resource and Protection*. 2019;11(10):1292-1311. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2019.1110075>.
16. Ferguson H., Znamensky V. *Methods of Computation of the Water Balance of Large Lakes and Reservoirs: A Contribution to The International Hydrological Programme (Studies and Reports in Hydrology)*. Methodology. Paris: UNESCO, 1981. Vol. 1. 122 p.
17. Sutcliffe J.V., Petersen G. Lake Victoria: Derivation of A Corrected Natural Water Level Series. *Hydrological Sciences Journal*. 2007;52(6):1316-1321. <https://doi.org/10.1623/hysj.52.6.1316>.
18. Cherinet A.A., Denghua Yan, Hao Wang, Xinshan Song, Tianlin Qin, Kassa M.T. et al. Impacts of Recent Climate Trends and Human Activity on the Land Cover Change of the Abbay River Basin in Ethiopia. *Advances in Meteorology*. 2019;2019(1):1-14. <https://doi.org/10.1155/2019/5250870>.
19. Tefera A.H. Application of Water Balance Model Simulation for Water Resource Assessment in Upper Blue Nile of North Ethiopia Using HEC-HMS by GIS and Remote Sensing: Case of Beles River Basin. *International Journal of Hydrology*. 2017;1(7):222-227. <https://doi.org/10.15406/ijh.2017.01.00038>.
20. Wagener T., Sivapalan M., Troch P.A., McGlynn B.L., Harman C.J., Gupta H.V. et al. The Future of Hydrology: An Evolving Science for A Changing World. *Water Resources Research*. 2010;46(5):1-10. <https://doi.org/10.1029/2009WR008906>.
21. Bracht-Flyer B., Istanbuluoglu E., Fritz S. A Hydro-Climatological Lake Classification Model and Its Evaluation Using Global Data. *Journal of Hydrology*. 2013;486:376-383. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.02.003>.
22. Taboada-Castro M.M., Rodríguez-Blanco M.L., Taboada-Castro M.T. Assessment of Seasonal Variations in Stream Water by Principal Component Analysis. *ECOSUD-2007. Ecology and the Environment*. 2007;106:1-10. <https://doi.org/10.2495/ECO070511>.

Информация об авторах

Сколубович Александр Юрьевич,
к.э.н., доцент кафедры экономики, управления,
социологии и педагогики,
Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет
(Сибстрин),
630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113,
Россия,
✉e-mail: SkolubovichS@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6695-6521>
Author ID: 888760

Information about the authors

Alexandr Yu. Skolubovich,
Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor
of the Department of Economics, Management,
Sociology and Pedagogy,
Novosibirsk State University of Architecture
and Civil Engineering (Sibstrin),
113 Leningradskaya St., Novosibirsk 630008,
Russia,
✉e-mail: SkolubovichS@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6695-6521>
Author ID: 888760

Евдокименко Александр Сергеевич,
к.э.н., доцент кафедры экономики,
управления, социологии и педагогики,
Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет
(Сибстрин),
630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113,
Россия,
e-mail: as@sibstrin.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1723-9769>
Author ID: 983660

Alexandr S. Evdokimenko,
Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor
of the Department of Economics, Management,
Sociology and Pedagogy,
Novosibirsk State University of Architecture
and Civil Engineering (Sibstrin),
113 Leningradskaya St., Novosibirsk 630008,
Russia,
e-mail: as@sibstrin.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1723-9769>
Author ID: 983660

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests
regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 19.11.2024.
Одобрена после рецензирования 16.12.2024.
Принята к публикации 18.12.2024.

Information about the article

The article was submitted 19.11.2024.
Approved after reviewing 16.12.2024.
Accepted for publication 18.12.2024.



Возможности применения твердых коммунальных отходов в дорожном строительстве

Н.А. Слободчикова^{1✉}, С.В. Ключев^{2,3}, А.М. Исмаилов⁴

¹Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия

³Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва, Россия

⁴Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Ежегодно во всем мире образуется огромное количество твердых коммунальных отходов. При этом большая часть этих отходов традиционно вывозится на места захоронения, что выводит из оборота земельные ресурсы, загрязняет почвы, грунтовые воды и атмосферный воздух, оказывает плохое влияние на растительный и животный мир. Повторное использование отходов потребления — важная задача охраны окружающей среды и ресурсосбережения. Одним из перспективных направлений повторного использования твердых коммунальных отходов является строительство автомобильных дорог. Стекланные и пластиковые отходы составляют около 17 % всех образующихся отходов в России. Между тем на основе стекланных и пластиковых отходов возможно получение материалов с высокими физико-механическими характеристиками. В дорожном строительстве стеклобой можно применять в качестве заполнителя для асфальтобетонных смесей, в составе бетонных смесей, для укрепления и стабилизация глинистых грунтов, для производства красок. Пластиковые отходы можно применять в асфальтобетонных и бетонных смесях, для стабилизации грунтов. К основным проблемам, препятствующим их эффективному и широкомасштабному применению относится отсутствие эффективной системы раздельного сбора и сортировки, широкомасштабных исследований применения отходов в разных дорожно-климатических зонах, а также исследований по оценке потенциальной экологической опасности при их применении в конструкциях автомобильных дорог.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, дорожное строительство, стекланные отходы, пластиковые отходы

Для цитирования: Слободчикова Н.А., Ключев С.В., Исмаилов А.М. Возможности применения твердых коммунальных отходов в дорожном строительстве // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 1. С. 119–132. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-119-132>. EDN: ZKCBEL.

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке в рамках национального проекта «Наука и университет» по созданию новой лаборатории «Разработка, исследования и опытно-промышленная апробация наукоемких технологий и технических средств для производства полимерсодержащих композиционных смесей и изделий из техногенных органоминеральных компонентов» (проект FZWN 2024-0002)

Original article

Application of municipal solid waste in road construction

Nadezhda A. Slobodchikova^{1✉}, Sergey V. Klyuev^{2,3}, Alexey M. Ismailov⁴

¹Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

²Belgorod Shukhov State Technological University, Belgorod, Russia

³Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia

⁴Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia

Abstract. Each year, a large amount of solid municipal waste is generated globally. Most of this waste is brought to disposal sites, which takes land resources out of circulation, pollutes soils, groundwater, and atmospheric air, and has a negative impact on flora and fauna. Therefore, recycling of consumer waste becomes one of the most urgent issues of environmental protection and resource conservation. Road construction is a promising area of reuse of solid municipal waste. Glass and plastic waste make up about 17% of all waste generated in Russia. Meanwhile, glass and plastic waste are suitable for the production of materials with high physical and mechanical characteristics. In road construction, glass waste can be used as a filler in asphalt concrete mixtures, as a component of concrete mixtures, as a reinforcement and stabilization material for clay soils, as well as in the production of paints. Plastic waste can be used in asphalt concrete and concrete mixtures, for soil stabilization. Among the key issues preventing their effective and large-scale use are the lack of an effective system of separate collection and sorting, the absence of large-scale studies on the use of waste in different road climatic zones, as well as the need for studies to assess the potential environmental hazards of its use in road construction.

Keywords: municipal solid waste, road construction, glass waste, plastic waste

For citation: Slobodchikova N.A., Klyuev S.V., Ismailov A.M. Application of municipal solid waste in road construction. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(1):119-132. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-119-132>. EDN: ZKCBEL.

Acknowledgements: The work was carried out with financial support within the framework of the national project "Science and University" to create a new laboratory "Development, research and pilot testing of high-tech technologies and technical means for the production of polymer-containing composite mixtures and products from man-made organomineral components" (project FZWN 2024-0002)

ВВЕДЕНИЕ

Твердые коммунальные отходы (ТКО) представляют собой отходы, образующиеся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами, а также товары, утратившие свои потребительские свойства в процессе их использования физическими лицами в жилых помещениях в целях удовлетворения личных и бытовых нужд. К ТКО также относятся отходы,

образующиеся в процессе деятельности юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, подобные по составу отходам, образующимся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами. По данным Всемирного банка, к 2050 г. количество ежегодного образования отходов вырастет до 3,4 млрд т [1]. Стоит отметить, что наибольшее количество отходов приходится на развитые страны (рис. 1).

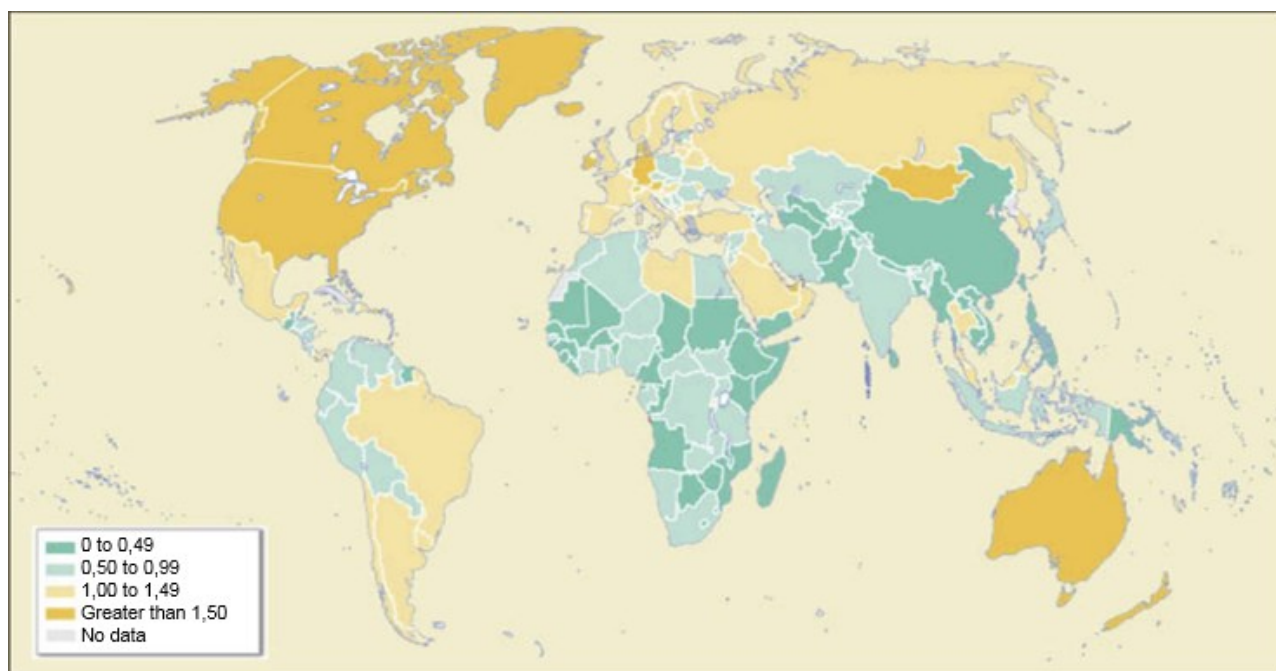


Рис. 1. Образование отходов потребления на душу населения, кг
Fig. 1. Generation of consumption waste per capita, kg

В Российской Федерации по данным Министерства природных ресурсов и экологии в 2023 г. образовано 47 млн т ТКО.

При этом большая часть этих отходов традиционно вывозится на места захоронения (рис. 2).

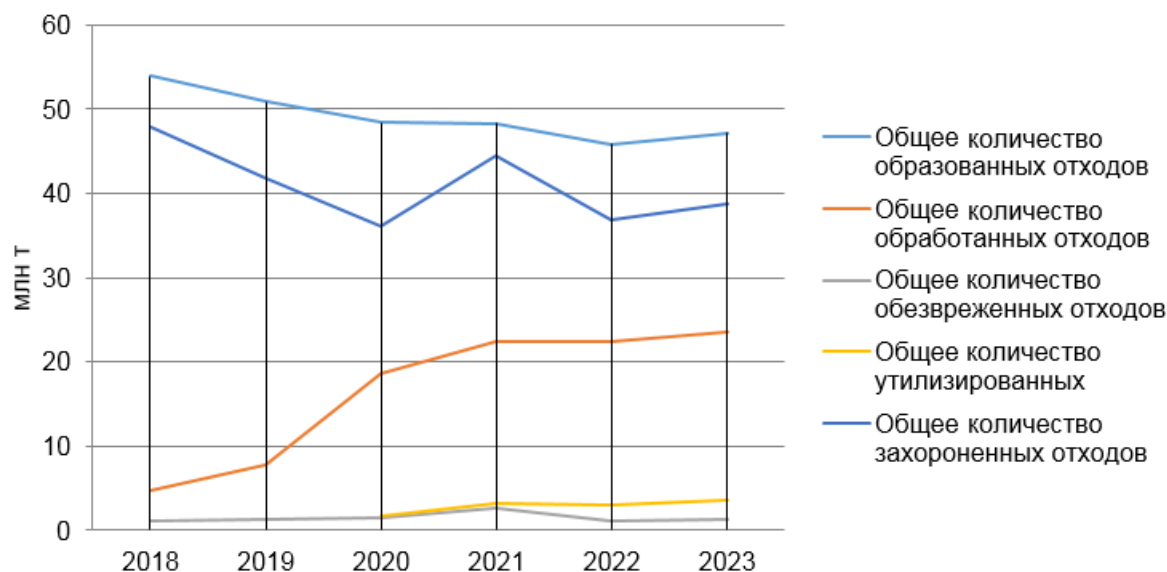


Рис. 2. Образование отходов потребления в России
Fig. 2. Formation of consumer waste in the Russia

Под размещение все возрастающих объемов ТКО ежегодно выделяется 400 000 га земли, что эквивалентно по размеру территории г. Москвы и Санкт-Петербурга. При этом на территории страны имеются места незаконного складирования отходов, площадь которых по разным оценкам варьируется от 10 до 100 тыс. га [2]. Захоронение отходов выводит из оборота земельные ресурсы, загрязняет

почвы, грунтовые воды и атмосферный воздух, оказывает плохое влияние на растительный и животный мир.

Повторное использование ТКО – важная задача охраны окружающей среды и ресурсосбережения.

По данным Российского экологического оператора основную часть ТКО составляют бумага, пищевые отходы и пластик (рис. 3).

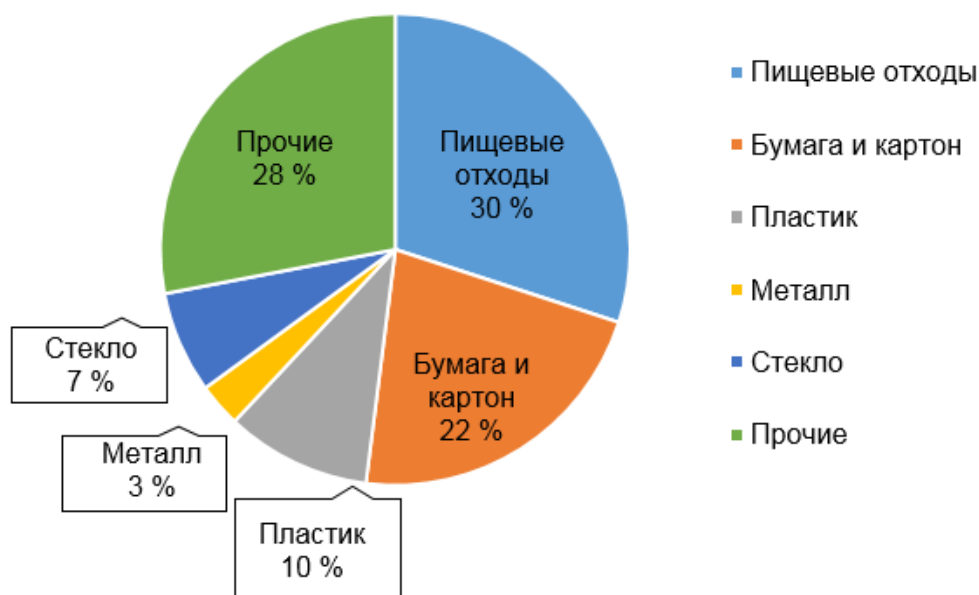


Рис. 3. Состав твердых коммунальных отходов по данным Российского экологического оператора

Fig. 3. Composition of MSW according to the data of the Russian environmental operator

Одним из перспективных направлений повторного использования ТКО является строительство автомобильных дорог.

С точки зрения крупнотоннажной переработки отходов и экономической целесообразности их использование в конструкциях автомобильных дорог представляет наибольший интерес.

МЕТОДЫ

Применение отходов стекла в дорожном строительстве

Исследования по применению отходов стекла в асфальтобетонных смесях проводятся с 1960-х гг. Стоит отметить, что в России действует ГОСТ 34981–2023 «Стеклобой для

вторичного использования. Классификация. Общие положения», согласно которому стеклобой – продукт утилизации отходов производства и потребления силикатного стекла и изделий из него, предназначенный для применения в качестве сырьевого материала при изготовлении продукции. В дорожном строительстве стеклобой можно применять в качестве заполнителя для асфальтобетонных смесей.

Для стеклобоя характерно устойчивость к истиранию, угловатая форма частиц, отражательная способность и водостойкость. Химический состав стеклобоя обусловлен составом исходного стекла и содержанием его в общей массе отходов (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав стеклянных отходов

Table 1. Chemical composition of glass waste

Наименование		Отходы стекольного порошка, % [3]	Отходы натрий- кальций- силикатного стекла (ГОСТ EN 572-1–2016)	Отходы боросиликатного стекла (ГОСТ EN 1748–1 –1–2016)	Отходы щелочноземельного силикатного стекла (ГОСТ EN 14178–1– 2016)	Отходы кварцевого стекла (ГОСТ 15130–86)
Диоксид кремния	SiO ₂	69,54	69–74	70–87	55–70	100
Оксид бора	B ₂ O	–	–	7–15	–	–
Оксид кальция	CaO	–	5–14	–	3–12	–
Оксид железа	Fe ₂ O ₃	1,42	–	–	–	–
Оксид алюминия	Al ₂ O ₃	1,81	0–3	0–8	0–15	–
Оксид натрия	Na ₂ O	12,59	10–16	0–8	–	–
Оксид калия	K ₂ O	0,52	–	0–8	5–14	–
Оксид магния	MgO	11,24	0–6	–	–	–
Оксид циркония	ZrO ₂	–	–	–	–	–
Оксиды стронция и бария	SrO BaO	–	–	–	1–15	–
Прочие компоненты		–	0–5	0–8	0–10	–

Замена традиционных заполнителей в асфальтобетонных смесях на стеклянные позволяет повысить устойчивость асфальтобетонного покрытия к износу и к деформациям, шероховатость (коэффициент сцепления колеса транспортных средств с покрытием), стойкость к образованию колеи и яркость покрытия, что

способствует улучшению видимости на дорогах. У применения стеклобоя в асфальтобетонных смесях есть недостатки. Поверхности частиц обычно гладкие, что может приводить к снижению плотности, увеличению воздушных пустот и водопроницаемости асфальтобетонной смеси. Плохая адгезия стекла с битумом

из-за низкой впитывающей способности стекла препятствует формированию прочного каркаса в асфальтобетонных смесях и может приводить к отслаиванию битумной пленки от стеклянных частиц из-за воздействия воды. Это сказывается на долговечности асфальтобетона, приводит к снижению несущей способности, образованию выбоин, расслоению и другим повреждениям, связанным с воздействием воды. Наличие в смесях неабсорбированного вяжущего может привести к расширению асфальтобетонной смеси в жаркую погоду, из-за чего смеси с высоким содержанием отходов стекла могут быть склонны к образованию трещин [7].

Для решения проблемы недостаточной адгезии между стеклянными частицами и битумом в основном используются различные добавки или битум с более высокими связующими свойствами. Это добавки на основе органически-силикатных материалов в нанометрическом масштабе [4, 5]. Также используются гашеная известь или портландцемент [6]. Преимуществом этих материалов является низкая стоимость, но при этом их трудно равномерно распределить в объеме т. к. они обычно добавляются непосредственно в асфальтобетонную смесь. Силаны (SiH_4) с органическими и неорганическими связями используются в качестве вяжущих веществ. Их применение, помимо увеличения адгезии между битумом и стеклом, повышает водостойкость асфальтобетонной смеси. В то же время добавление большого количества (более 10 %) силанов отрицательно сказывается на стабильности асфальтобетонной смеси. На конечные свойства асфальтобетонной смеси и асфальтобетона влияет количество и размер стеклянных частиц. Следовательно, не рекомендуется применение частиц размером более 9,5 мм, т. к. они могут приводить к повреждениям кожных покровов у человека и проколам шин транспортных средств при контакте с асфальтобетоном. Размер должен быть от 0 до 2,36 мм. Замена традиционных заполнителей на частицы мелкие (2,36–4,5 мм) и крупные (4,75–9,5 мм) позволяет повысить устойчивость покрытия к износу, скольжению, проникновению воды и образованию колеи. При увеличении количества стеклянного заполнителя до 20 % и выше устойчивость к колееобразованию снижается примерно на 74 %. Это вызвано хрупкостью самого стекла и слабой адгезией. Разными исследователями рекомендуется количество стеклянного заполнителя в составе асфальтобетонной смеси не более 15 % [6–9].

Применение отходов стекла в составе бетонных смесей

На основе стеклянного порошка возможно получение бетонов с прочностью на сжатие 120–200 МПа [10]. Замена песка в составе бетонных смесей на измельченный стеклянный порошок в количестве до 20% позволяет улучшить удобоукладываемость бетонной смеси, т. к. водопоглощение частиц битого стекла ниже традиционных заполнителей, увеличить прочность бетона на сжатие и растяжение при изгибе и снизить водопоглощение [3, 11, 12]. Стеклянный порошок также можно использовать для замены цемента и в качестве дополнительного вяжущего материала. Он перерабатывается с помощью плавления, вместе с кальцинированной содой и карбонатом кальция при температуре 500–1300 °С с последующим охлаждением для затвердевания без кристаллизации. Присутствие стекла в бетонной смеси приводит к пуццолановым реакциям с портландитом и образованием гидрата силиката кальция (C-S-H), что улучшает микроструктуру бетона и повышает прочность и долговечность [10, 12].

При этом возможны три варианта реакции, которые определяются скоростью растворения диоксида кремния и щелочностью порошкового раствора бетона:

1. Если pH находится между 12 и 13, содержится большое количество Ca^{2+} , то обычно происходит образование C-S-H.

2. Если имеется избыток Ca^{2+} и значительное количество Al^{3+} , то образуется алюминат кальция силикатный гидрат (C-A-S-H). Оба продукта реакции полезны для улучшения структуры пор и повышения прочности. Образование C-S-H на поверхности кремнезема препятствует его дальнейшему растворению, а C-S-H, содержащий $\equiv\text{Si-O}$, поглощает и связывает катионы щелочных металлов (Na^+ и K^+), тем самым подавляя реакцию щелочного кремнезема (ASR).

3. Если pH превышает 13, в порошковом растворе присутствует большое количество Na^+/K^+ , а при наличии портландита вокруг стеклянных частиц образуется щелочной кремнеземный гель и размер частиц превышает 1 мм, то это приводит к вредному ASR. Стеклянные частицы размером менее 425 мкм не вызывают вредного расширения ASR.

Возможна замена зол-уноса на стеклянный порошок в количестве до 15 %, что увеличивает прочность на сжатие. Дальнейшее увеличение содержания стеклянного порошка приводит к снижению прочности на сжатие [13]. Он также обеспечивает более однородные свойства материала и более привлекательный внешний вид бетона благодаря своему белому

цвету по сравнению с золами-уноса [10].

Укрепление и стабилизация глинистых грунтов

Добавление стеклянного порошка (размером частиц менее 5 мм) в количестве 10–15 % от массы сухого грунта в набухающие глинистые грунты позволяет увеличить прочностные характеристики за счет увеличения трения и сцепления между стеклянными и глинистыми частицами [15–14]. При более высоком содержании стеклянных частиц прочностные характеристики снижаются из-за их слипания и увеличения пористости. Также можно снизить набухание/усадку и повысить механическую устойчивость к подъему и усадке за счет увеличенного сцепления между частицами, обусловленного их угловатой формой. Применение стеклянного порошка в количестве до 10 % и цемента в количестве 5 % для укрепления и стабилизации глинистых грунтов позволяет снизить показатель текучести и число пластичности, увеличить максимальную плотность при одновременном снижении оптимальной влажности, т.к. частицы стекла обладают значительно меньшей способностью поглощать воду [16]. Из стеклобоя возможно изготовление стекловолокон. Они изготавливаются из расплавленного стекла, которое выдавливается через мелкие отверстия. Затем их вытягивают и быстро охлаждают для получения нитей. Они характеризуются высокой прочностью при растяжении (650 МПа), жесткостью, устойчивостью к коррозии и высокой термостойкостью

[17]. Совместное применение стекловолокон разной длины (12, 18 и 24 мм) в количестве 0,6–0,8 %, цемента, зол-уноса для укрепления илов позволяет увеличить калифорнийское число CBR, при этом прочность зависит от размера волокон, и уменьшить пористость [18].

Применение отходов стекла для производства красок

Использование в качестве сырья для производства стеклянных гранул или шариков в светоотражающей краске для автомагистралей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Применение отходов пластика в дорожном строительстве

Пластик относится к группе синтетических материалов, изготовленных из углеводородов, полученных в результате полимеризации органического сырья, в основном природного газа и сырой нефти. Благодаря различным типам полимеризации производство пластмасс возможно с определенными свойствами: твердые или мягкие, непрозрачные или прозрачные, гибкие или жесткие. К основным видам пластмасс относятся термопласты, реактопласты и эластомеры. Самыми распространенными пластмассами являются: поливинилхлорид, полиэтиленрефталат, полипропилен, полистирол, полиэтилен низкого давления, полиэтилен высокого давления. В настоящее время база синтетических полимерных материалов доходит до 100 тыс. наименований, основная часть из них представлена в табл. 2 [19].

Таблица 2. Виды пластиковых отходов

Table 2. Types of plastic waste

Пример отходов	Наименование	ГОСТ 33366.1-2015 (ISO 1043-1:2011)	Свойства
Бутылки для напитков, упаковки для порошков и сыпучих пищевых продуктов, полиэстер	Полиэтиленрефталат (лавсан)	PET	Легкий удельный вес 1,33 г/см ³ Температурная стойкость в диапазоне температур от -50 до +85 °С Светопропускная способность свыше 90 % Высокая ударная прочность
Пакеты фасовочные для соков и молока, контейнеры для продуктов, бутылки для шампуней, отбеливателей	Полиэтилен высокой плотности (низкого давления)	PEHD (HDPE)	Плотность 961 кг/м ³ Температура плавления 131,8 °С (269,24 °F) Температура кристаллизации 121,9 °С (251,42 °F) Скрытая теплота плавления 188,6 кДж/кг Теплопроводность 0,54 Вт/м °С. Удельная теплоемкость от 1331 до 2400 Дж/кг-К Удельная теплоемкость (твердое вещество) 2,9 кДж/кг °С

Окончание табл. 2

Пример отходов	Наименование	ГОСТ 33366.1- 2015 (ISO 1043- 1:2011)	Свойства
Окна, двери, мебель, напольные покрытия, банки для пищевых жиров	Поливинилхлорид	PVC	Плотность 1,35–1,43 г/см ³ Температура плавления от 150 до 220 °С Трудногорюч – при температурах выше 110–120 °С склонен к разложению с выделением хлористого водорода HCl. Не растворяется в воде, спиртах, углеводородах (в том числе бензине и керосине) Устойчив к действию кислот, щелочей, растворов солей, жиров, спиртов, обладает хорошими диэлектрическими свойствами. Предел прочности при растяжении – 40–50 МПа, при изгибе – 80–120 МПа Нагревостойкость – +66 °С. Обладает малой морозостойкостью (–15 °С)
Пакеты, пищевая пленка, ведра, трубы, крышки, гибкие пластиковые упаковки	Полиэтилен низкой плотности (высокого давления)	PELD (LDPE)	Плотность 917–930 кг/м ³ Может выдерживать температуру 65 °С (149 °F) в течение длительного времени и 90 °С (194 °F) в течение короткого времени Бывает прозрачным и непрозрачным, довольно гибким и прочным
Посуда для горячих блюд, одноразовые шприцы, мешки для упаковки круп, сахара, контейнеры для замораживания продуктов, бутылочные крышки, бутылки для кетчупов и сиропов, стаканчики для йогурта, детали автомобилей	Полипропилен	PP	Низкая плотность – 900–910 кг/м ³ Высокая прочность Стойкость к низким и высоким температурам в диапазоне от –15 до +5 °С Температура плавления свыше 160–168 °С. Легкость обработки – материал хорошо поддается сварке, распилу, сверлению, прекрасно гнется Стойкость к агрессивным средам
Игрушки, упаковочные подносы для продуктов, одноразовая посуда, подложки, цветочные горшки, чемоданы, баночки для лекарств	Полистирол	PS	Плотность около 1100 кг/м ³ Удельный вес 1,04–1,06 г/см ³ Термическая стойкость в пределах 100 °С Насыпная плотность гранул 550–570 кг/м ³ Линейная усадка в форме около 0,6 % Высокая эластичность при нагревании Стойкость к спиртосодержащим веществам, разбавленным щелочам, кислотам Долговечность Не впитывает воду Может использоваться в условиях пониженных температур, до –40 °С Начинает плавиться при температуре +240 °С При сильном нагревании или горении полистирол выделяет токсичные вещества

Применение в асфальтобетонных смесях

Известно, что добавление термопластичных модификаторов в обычный битум улучшает его вязкоупругие и реологические свойства [20]. Первые экспериментальные работы с использованием модифицированного асфальтобетона с первичными полимерами относятся к 1930 г., а первая дорога с модифицированным асфальтом была построена в 1970 г. Широко исследовано применение таких полимеров как этиленвинилацетат и стирол бутадиен стирол. Впервые отходы пластика были использованы для модификации асфальтобетона в 1990-х гг., когда применялось пластиковое волокно [21]. В последнее время вызывает большой интерес использование переработанных термопластичных полимеров, таких как полиэтилен, полипропилен и полиэтилентерефталат (табл. 3). Правильное добавление пластиковых отходов в битум улучшает качество и срок службы асфальтобетонных покрытий [22]. Существует два основных способа включения их в асфальтобетонные смеси:

1. Влажный. При влажном способе пластиковые отходы смешивают с битумом, а затем с заполнителями. Этот процесс требует сложного оборудования, такого как миксер с высоким усилием сдвига, пластик должен быть хорошо измельчен или перетерт в порошок, чтобы его можно было смешать с битумом при высоких температурах и получить однородное вяжущее с добавлением пластика.

2. Сухой процесс заключается в смешивании пластиковых отходов с заполнителями перед добавлением битума. Частицы пластика могут либо заменить часть заполнителя, либо расплавиться и покрыть его. Сухой процесс является более простым и экономичным [21]. По сравнению с влажным методом недостатком сухого является то, что взаимодействие между полиэтиленом и связующим веществом неизвестно, а также то, что при сухом методе возникают такие проблемы, как неравномерное распределение пластика, недостаточное набухание, плохая адгезия с асфальтом и заполнителем, и то, что смесь легко высыхает [23].

Таблица 3. Обзор влияния пластика на асфальтобетонные смеси [20–24]

Table 3. Overview of the effect of plastic on asphalt mixtures [20–24]

Вид	Влияние на характеристики асфальтобетона / асфальтобетонного покрытия	Количество
Полиэтилентерефталат	Повышает адгезию между вяжущим и заполнителями Обеспечивает большую эластичность смеси Покрывает поверхности заполнителей, заполняя их поры Улучшает сцепление с заполнителем Повышает температуру размягчения битума Повышает гибкость вяжущего, что улучшает способность восстанавливаться после приложенной нагрузки Улучшение характеристик образования колеи Улучшение усталостной прочности	До 20 % от массы вяжущего
Полиэтилен низкой плотности	Улучшает сцепление между компонентами асфальтобетонной смеси Покрывает поверхности заполнителей Повышает температуру размягчения битума Повышает жесткость асфальтобетонной смеси Повышает стойкость заполнителей к истиранию / износу и ударам Улучшает сцепление с заполнителем усиливает образование колеи и ухудшает усталостные характеристики Повышает устойчивость к усталости и колееобразованию	6,5 % от общей массы смеси заполнителей
Поликарбонат	Повышает адгезию между заполнителями и асфальтобетонным вяжущим Повышает гибкость битума, обеспечивая лучшую эластичность при многократных нагрузках Улучшает термическую восприимчивость Способствует формированию каркасной структуры внутри асфальтобетонной смеси	—

Окончание табл. 3

Вид	Влияние на характеристики асфальтобетона / асфальтобетонного покрытия	Количество
Полиэтилен высокой плотности	Укрепление связи между битумом и заполнителями, когезия Покрывает поверхности и заполняет их поры Повышает температуру размягчения битума Повышает жесткость асфальтобетонной смеси Увеличивают вязкость вяжущего Повышает стойкость заполнителей к истиранию/износу и ударам Обеспечивает эластичность асфальтобетонной смеси Повышает термостойкость Улучшение характеристик образования колеи	До 3 %
Полиэтилен	Обеспечивает эластичность асфальтобетонной смеси Повышает адгезию между асфальтобетонным вяжущим и заполнителями Повышает температуру размягчения битума Повышает жесткость асфальтобетонной смеси Увеличивают вязкость вяжущего Улучшенная структура сцепления внутри смеси, когезия	До 3 %
Полипропилен	Повышенная адгезия между связующим и заполнителями Расплавляет и покрывает заполнители Укрепляет механическую связь между заполнителями, когезия, с улучшением характеристик как при колееобразовании, так и при усталостных разрушениях	—
Поливинилхлорид	Улучшенное сцепление частиц заполнителя Улучшает сцепление между компонентами асфальтобетонной смеси Улучшенная структура сцепления внутри смеси, когезия, с улучшением характеристик как при колееобразовании, так и при усталостных разрушениях	—

Применение в бетонах

В бетонах возможно применение полиэтилена в виде порошка или волокон для частичной замены мелкого заполнителя.

Введение полиэтилена в количестве 22 % от массы заполнителя позволяет повысить стойкость к деформациям бетона при затвердении, повысить жесткость и прочностные характеристики.

При содержании полиэтилена в количестве 5 % бетон подходит для строительства покрытий автомобильных дорог [22]. Также возможно применение полиэтилена низкой плотности для изготовления брусчатки.

В исследованиях приведены результаты изучения брусчатки, изготовленной из расплавленных пластиковых отходов, гранита и песка [25–26].

С помощью ортогонального тестирования были определены следующие параметры приготовления: температура смешивания – 200 °С, время смешивания – 210 с., количество уплотнений – 50 раз. Дозировка текучего агента составила 9 %, а оптимальное соотношение цемента и камня – 5,7 % в результате

подбора состава.

Для стабилизации грунтов

Введение измельченных полиэтиленовых пакетов, размером фракций 5×5 мм, в песчаные грунты позволяет увеличить калифорнийское число при содержании отходов 0,06 % от массы сухого грунта, большее процентное содержание полиэтиленовых приводит к снижению угла внутреннего трения и к снижению калифорнийского числа CBR, и снизить водопроницаемость грунта [27].

Применение ТКО в конструкциях автомобильных дорог позволяет повторно использовать большое количество этих отходов.

При этом имеется ряд проблем для широкомасштабного их использования [28–31]:

– в России отсутствует эффективная система раздельного сбора и сортировки отходов потребления;

– отходы даже одного вида могут сильно отличаться по своим химическим и физико-механическим свойствам, наличию и виду примесей

– для приготовления материалов на основе отходов потребления необходимо специальное оборудование.

В литературе пока нет данных об эффективных методах отслеживания потенциальной экологической опасности, связанной с использованием отходов и в частности мелких пластиковых отходов в верхних слоях дорожного покрытия, особенно в отношении вымывания мельчайших фракций пластика в грунтовые воды.

Не существует стандартной процедуры оценки высвобождения микропластика из дорожного покрытия при истирании, следовательно, экологичность использования пластиковых отходов при строительстве дорог еще не доказана, и дорожные службы по-прежнему не решаются продвигать строительство дорог с пластиковым покрытием.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В России в 2023 г. образовано 47 млн т ТКО. При этом большая часть этих отходов традиционно вывозится на места захоронения. Захоронение отходов выводит из оборота зе-

мельные ресурсы, загрязняет почвы, грунтовые воды и атмосферный воздух, оказывает плохое влияние на растительный и животный мир. Повторное использование отходов потребления – важная задача охраны окружающей среды и ресурсосбережения. Их можно применять в качестве заполнителя для асфальтобетонных смесей, в составе бетонных смесей, для укрепления и стабилизация глинистых грунтов, для производства красок.

Несмотря на хорошие перспективы применения ТКО в дорожном строительстве, в России существует множество проблем, препятствующих их эффективному и широкомасштабному применению, а именно отсутствие эффективной системы раздельного сбора и сортировки ТКО, широкомасштабных исследований применения этих отходов в разных дорожно-климатических зонах и исследований по оценке потенциальной экологической опасности, связанной с использованием ТКО.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Silpa Kaza, Lisa Yao, Perinaz Bhada-Tata, Frank Van Woerden What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Washington: International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, 2018. 231 p.
2. Шилкина С.В. Мировые тенденции управления отходами и анализ ситуации в России // Отходы и ресурсы. 2020. Т. 7. № 1. С. 1–17. <https://doi.org/10.15862/05ECOR120>. EDN: ZZGXBE.
3. Bahadur R., Parashar A.K. An Investigation of Waste Glass Powder with The Substitution of Sand On Concrete Mix // Materials Today: Proceedings. 2023. P. 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.02.123>.
4. Miao Yu, Dongzhao Jin, Yu Liu, Zhanping You, Yalong Li Performance Evaluation of Surface Treatment Waste Glass as Aggregate in Asphalt Mixture // Case Studies in Construction Materials. 2024. Vol. 21. P. 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03767>.
5. Chuanqiang Li, Haobo Wang, Chaoliang Fu, Shaosong Shi, Quan Liu, Peixin Xu et al. Effect and Mechanism of Waste Glass Powder Silane Modification On Water Stability of Asphalt Mixture // Construction and Building Materials. 2023. Vol. 366. P. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130086>.
6. Ming Cheng, Meizhu Chen, Shaopeng Wu, Tianyuan Yang, Jianwei Zhang, Yuechao Zhao Effect of Waste Glass Aggregate On Performance of Asphalt Micro-Surfacing // Construction and Building Materials. 2021. Vol. 307. P. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125133>.
7. Anochie-Boateng J., George T. Investigation of The Use of Waste Crushed Glass in The Production of Asphalt Mixes // Construction Materials. 2018. Vol. 171. Iss. 5. P. 187–194. <https://doi.org/10.1680/jcoma.16.00084>.
8. Gedik A. An Exploration into The Utilization of Recycled Waste Glass as A Surrogate Powder to Crushed Stone Dust in Asphalt Pavement Construction // Construction and Building Materials. 2021. Vol. 300. P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123980>.
9. Bochao Zhou, Jiupeng Zhang, Jianzhong Pei, Rui Li, Zhidong Zhang Design and Evaluation of High-Luminescence Porous Asphalt Mixtures Based On Wasted Glass for Sponge City // Construction and Building Materials. 2021. Vol. 273. P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121696>.
10. Bijaya Rai, Kay Wille Recycled Glass Powder as an Alternative to Fly Ash in Non-Proprietary UHPC: A Comparative Study of Resource-Efficient Design, Mechanical and Durability Properties // Journal of Cleaner Production. 2024. Vol. 451. P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141907>.
11. Jagriti Gupta, Jethoo A.S., Ramana P.V. Evaluating Long Term Properties of Concrete Using Waste Beverage Glass // Materials Today: Proceedings. 2022. Vol. 61. P. 2. P. 297–306. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.446>.
12. Momeni K., Vatin N.I., Hematibahar M., Gebre T.H. Repair Overlays of Modified Polymer Mortar Containing Glass Powder and Composite Fibers-Reinforced Slag: Mechanical Properties, Energy Absorption, And Adhesion to Substrate Concrete // Frontiers in Built Environment. 2024. Vol. 10. P. 1–10. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1479849>.

13. Marathe S., Mithanthaya I.R., Shenoy R.Y. Durability and Microstructure Studies On Slag-Fly Ash-Glass Powder Based Alkali Activated Pavement Quality Concrete Mixes // *Construction and Building Materials*. 2021. Vol. 287. P. 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123047>.
14. Perera S.T.A.M., Saberian M., Zhu J., Roychand R., Jie Li Effect of Crushed Glass On the Mechanical and Microstructural Behavior of Highly Expansive Clay Subgrade // *Case Studies in Construction Materials*. 2022. Vol. 17. P. 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01244>.
15. Blayi R.A., Sherwani A.F.H., Hawkar H.I., Rabar H.F., Ako Daraei Strength Improvement of Expansive Soil by Utilizing Waste Glass Powder // *Case Studies in Construction Materials*. 2020. Vol. 13. P. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00427>.
16. Sheob M., Sajid M., Ansari M.A., Rais I., Sadique M.R., Ahmad S. Using A Blend of Cement and Waste Glass Powder to Improve the Properties of Clayey Soil // *Materials Today: Proceedings*. 2023. P. 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.05.440>.
17. Rabab'ah S., Al Hattamleh O., Aldeeky H., Abu Alfoul B. Effect of Glass Fiber On the Properties of Expansive Soil and Its Utilization as Subgrade Reinforcement in Pavement Applications // *Case Studies in Construction Materials*. 2021. Vol. 14. P. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00485>.
18. Gul N., Mir B.A. Performance Evaluation of Silty Soil Reinforced with Glass Fiber and Cement Kiln Dust for Subgrade Applications // *Construction and Building Materials*. 2023. Vol. 392. P. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131943>.
19. Потапова Е.В. Проблема утилизации пластиковых отходов // *Известия Байкальского государственного университета*. 2018. Т. 28. № 4. С. 535–544. [https://doi.org/10.17150/2500-2759.2018.28\(4\).535-544](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2018.28(4).535-544). EDN: QNGYYX.
20. Kwabena Appiah J., Nana Berko-Boateng V., Ama Tagbor T. Use of Waste Plastic Materials for Road Construction in Ghana // *Case Studies in Construction Materials*. 2017. Vol. 6. P. 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2016.11.001>.
21. Cardoso J., Ferreira A., Almeida A., Santos J. Incorporation of Plastic Waste into Road Pavements: A Systematic Literature Review On the Fatigue and Rutting Performances // *Construction and Building Materials*. 2023. Vol. 407. P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133441>.
22. Birlie Genet M., Bantie Sendekie Z., Lemessa Jembere A. Investigation and Optimization of Waste LDPE Plastic as A Modifier of Asphalt Mix for Highway Asphalt: Case of Ethiopian Roads // *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 2021. Vol. 4. P. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100150>.
23. Xiaobo Du, Shaohui Liu, Hongwei Lin, Xiuchen Xu, Zhixian Zheng, Hongchao Zhang Study On Preparation Technology and Performance of Polyethylene Plastic Concrete for Road // *Construction and Building Materials*. 2023. Vol. 401. P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132917>.
24. Veropalumbo R., Oreto C., Viscione N., Pirozzi F., Pontoni L., Trancone G. et al. Exploring the Effect on The Environment of Encapsulated Micro- and Nano-Plastics into Asphalt Mastics for Road Pavement // *Environmental Research*. 2023. Vol. 216. P. 1. P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114466>.
25. Sakthipriya N. Plastic Waste Management: A Road Map to Achieve Circular Economy and Recent Innovations in Pyrolysis // *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 809. P. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151160>.
26. Enfrin M., Myszk R., Giustozzi F. Paving Roads with Recycled Plastics: Microplastic Pollution or Eco-Friendly Solution? // *Journal of Hazardous Materials*. 2022. Vol. 437. P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129334>.
27. Singh Parihar H., Verma M. Low Compressive Potency DS-Dune Sand Utilizing PW-Plastic Waste for The Construction of Roads // *Materials Today: Proceedings*. 2021. Vol. 45. P. 2. P. 3005–3009. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.1001>.
28. Klyuev S.V., Slobodchikova N.A., Saidumov M.S., Abumuslimov A.S., Mezhdidov D.A., Khezhev T.A. Application of Ash and Slag Waste from Coal Combustion in The Construction of the Earth Bed of Roads // *Construction Materials and Products*. 2024. Vol. 7. Iss. 6. P. 1–12. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2024-7-6-3>.
29. Pukharensko Yu.V., Khrenov G.M., Kluev S.V., Khezhev T.A., Eshanzada S.M. Design of Steel Fiber-Reinforced Concrete for Slip Forming // *Construction Materials and Products*. 2024. Vol. 7. Iss. 5. P. 1–9. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2024-7-5-2>.
30. Ключев А.В., Кашапов Н.Ф., Ключев С.В., Лесовик Р.В., Агеева М.С., Фомина Е.В. и др. Разработка щелочеактивированных вяжущих на основе техногенных волокнистых материалов // *Строительные материалы и исследования*. 2023. Т. 6. № 1. С. 60–73. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-1-60-73>. EDN: GEOBD.
31. Ключев А.В., Кашапов Н.Ф., Ключев С.В., Золотарева С.В., Щекина Н.А., Шорстова Е.С. и др. Экспериментальные исследования процессов структурообразования композиционных смесей с техногенным механоактивированным кремнеземистым компонентом // *Строительные материалы и изделия*. 2023. Т. 6. № 2. С. 5–18. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-2-5-18>. EDN: TIKJRK.

REFERENCES

1. Kaza S., Yao L., Bhada-Tata P., Van Woerden F. *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington: International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, 2018. 231 p.
2. Shilkina S.V. Global Trends in Waste Management and Analysis of the Situation in Russia. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2020;7(1):1-17. (In Russ.). <https://doi.org/10.15862/05ECOR120.EDN: ZZGXBE>.
3. Bahadur R., Parashar A.K. An Investigation of Waste Glass Powder with The Substitution of Sand On Concrete Mix. *Materials Today: Proceedings*. 2023;1-5. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.02.123>.
4. Miao Yu, Dongzhao Jin, Yu Liu, Zhanping You, Yalong Li Performance Evaluation of Surface Treatment Waste Glass as Aggregate in Asphalt Mixture. *Case Studies in Construction Materials*. 2024;21:1-16. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03767>.
5. Chuanqiang Li, Haobo Wang, Chaoliang Fu, Shaosong Shi, Quan Liu, Peixin Xu et al. Effect and Mechanism of Waste Glass Powder Silane Modification On Water Stability of Asphalt Mixture. *Construction and Building Materials*. 2023;366:1-10. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130086>.
6. Ming Cheng, Meizhu Chen, Shaopeng Wu, Tianyuan Yang, Jianwei Zhang, Yuechao Zhao Effect of Waste Glass Aggregate On Performance of Asphalt Micro-Surfacing. *Construction and Building Materials*. 2021;307:1-11. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125133>.
7. Anochie-Boateng J., George T. Investigation of The Use of Waste Crushed Glass in The Production of Asphalt Mixes. *Construction Materials*. 2018;171(5):187-194. <https://doi.org/10.1680/jcoma.16.00084>.
8. Gedik A. An Exploration into The Utilization of Recycled Waste Glass as A Surrogate Powder to Crushed Stone Dust in Asphalt Pavement Construction. *Construction and Building Materials*. 2021;300:1-13. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123980>.
9. Bochao Zhou, Jiupeng Zhang, Jianzhong Pei, Rui Li, Zhidong Zhang Design and Evaluation of High-Luminance Porous Asphalt Mixtures Based On Wasted Glass for Sponge City. *Construction and Building Materials*. 2021;273:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121696>.
10. Bijaya Rai, Kay Wille Recycled Glass Powder as an Alternative to Fly Ash in Non-Proprietary UHPC: A Comparative Study of Resource-Efficient Design, Mechanical and Durability Properties. *Journal of Cleaner Production*. 2024;451:1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141907>.
11. Jagriti Gupta, Jethoo A.S., Ramana P.V. Evaluating Long Term Properties of Concrete Using Waste Beverage Glass. *Materials Today: Proceedings*. 2022;61(2):297-306. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.446>.
12. Momeni K., Vatin N.I., Hematibahar M., Gebre T.H. Repair Overlays of Modified Polymer Mortar Containing Glass Powder and Composite Fibers-Reinforced Slag: Mechanical Properties, Energy Absorption, And Adhesion to Substrate Concrete. *Frontiers in Built Environment*. 2024;10:1-10. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1479849>.
13. Marathe S., Mithanthaya I.R., Shenoy R.Y. Durability and Microstructure Studies On Slag-Fly Ash-Glass Powder Based Alkali Activated Pavement Quality Concrete Mixes. *Construction and Building Materials*. 2021;287:1-18. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123047>.
14. Perera S.T.A.M., Saberian M., Zhu J., Roychand R., Jie Li Effect of Crushed Glass On the Mechanical and Microstructural Behavior of Highly Expansive Clay Subgrade. *Case Studies in Construction Materials*. 2022;17:1-19. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01244>.
15. Blayi R.A., Sherwani A.F.H., Hawkar H.I., Rabar H.F., Ako Daraei Strength Improvement of Expansive Soil by Utilizing Waste Glass Powder. *Case Studies in Construction Materials*. 2020;13:1-12. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00427>.
16. Sheob M., Sajid M., Ansari M.A., Rais I., Sadique M.R., Ahmad S. Using A Blend of Cement and Waste Glass Powder to Improve the Properties of Clayey Soil. *Materials Today: Proceedings*. 2023;1-5. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.05.440>.
17. Rabab'ah S., Al Hattamleh O., Aldeeky H., Abu Alfoul B. Effect of Glass Fiber On the Properties of Expansive Soil and Its Utilization as Subgrade Reinforcement in Pavement Applications. *Case Studies in Construction Materials*. 2021;14:1-12. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00485>.
18. Gul N., Mir B.A. Performance Evaluation of Silty Soil Reinforced with Glass Fiber and Cement Kiln Dust for Subgrade Applications. *Construction and Building Materials*. 2023;392:1-15. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131943>.
19. Potapova E.V. The Issue of Plastic Waste Utilization. *Bulletin of Baikal State University*. 2018;28(4):535-544. (In Russ.). [https://doi.org/10.17150/2500-2759.2018.28\(4\).535-544](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2018.28(4).535-544). EDN: QNGYYX.
20. Kwabena Appiah J., Nana Berko-Boateng V., Ama Tagbor T. Use of Waste Plastic Materials for Road Construction in Ghana. *Case Studies in Construction Materials*. 2017;6:1-7. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2016.11.001>.

21. Cardoso J., Ferreira A., Almeida A., Santos J. Incorporation of Plastic Waste into Road Pavements: A Systematic Literature Review On the Fatigue and Rutting Performances. *Construction and Building Materials*. 2023;407:1-13. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133441>.
22. Birie Genet M., Bantie Sendekie Z., Lemessa Jembere A. Investigation and Optimization of Waste LDPE Plastic as A Modifier of Asphalt Mix for Highway Asphalt: Case of Ethiopian Roads. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 2021;4:1-11. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100150>.
23. Xiaobo Du, Shaohui Liu, Hongwei Lin, Xiuchen Xu, Zhixian Zheng, Hongchao Zhang Study On Preparation Technology and Performance of Polyethylene Plastic Concrete for Road. *Construction and Building Materials*. 2023;401:1-13. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132917>.
24. Veropalumbo R., Oreto C., Viscione N., Pirozzi F., Pontoni L., Trancone G. et al. Exploring the Effect on The Environment of Encapsulated Micro- and Nano-Plastics into Asphalt Mastics for Road Pavement. *Environmental Research*. 2023;216(1):1-9. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114466>.
25. Sakthipriya N. Plastic Waste Management: A Road Map to Achieve Circular Economy and Recent Innovations in Pyrolysis. *Science of The Total Environment*. 2022;809:1-14. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151160>.
26. Enfrin M., Myszk R., Giustozzi F. Paving Roads with Recycled Plastics: Microplastic Pollution or Eco-Friendly Solution? *Journal of Hazardous Materials*. 2022;437:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129334>.
27. Singh Parihar H., Verma M. Low Compressive Potency DS-Dune Sand Utilizing PW-Plastic Waste for The Construction of Roads. *Materials Today: Proceedings*. 2021;45(2):3005-3009. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.1001>.
28. Klyuev S.V., Slobodchikova N.A., Saidumov M.S., Abumuslimov A.S., Mezhdidov D.A., Khezhev T.A. Application of Ash and Slag Waste from Coal Combustion in The Construction of the Earth Bed of Roads. *Construction Materials and Products*. 2024;7(6):1-12. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2024-7-6-3>.
29. Pukharensko Yu.V., Khrenov G.M., Klyuev S.V., Khezhev T.A., Eshanzada S.M. Design of Steel Fiber-Reinforced Concrete for Slip Forming. *Construction Materials and Products*. 2024;7(5):1-9. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2024-7-5-2>.
30. Klyuev A.V., Kashapov N.F., Klyuev S.V., Lesovik R.V., Ageeva M.S., Fomina E.V. et al. Development of Alkali-Activated Binders Based On Technogenic Fibrous Materials. *Construction Materials and Products*. 2023;6(1):60-73. (In Russ.). <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-1-60-73>. EDN: GEOOBD.
31. Klyuev A.V., Kashapov N.F., Klyuev S.V., Zolotareva S.V., Shchekina N.A., Shorstova E.S. Experimental Studies of the Processes of Structure Formation Of composite Mixtures with Technogenic Mechanoactivated Silica Component. *Construction Materials and Products*. 2023;6(2):5-18. (In Russ.). <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-2-5-18>. EDN: TIKJRK.

Информация об авторах

Слободчикова Надежда Анатольевна,
к.т.н., доцент,
доцент кафедры автомобильных дорог,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉e-mail: NSlobodchikova@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7845-2969>
Author ID: 518380

Клюев Сергей Викторович,
д.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник
НИЛ «Ресурсо-энергосберегающих технологий,
оборудования и комплексов»,
Белгородский государственный
технологический университет им. В.Г. Шухова,
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, Россия,
профессор кафедры технологий строительства
и конструкционных материалов,
Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы,
117198, г. Москва,
ул. Миклухо-Маклая, 6, Россия,
e-mail: klyuyev@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1995-6139>
Author ID: 529053

Information about the authors

Nadezhda A. Slobodchikova,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Automobile Roads,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉e-mail: NSlobodchikova@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7845-2969>
Author ID: 518380

Sergey V. Klyuev,
Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Leading Researcher NIL "Resource-Saving
Technologies, Equipment and Complexes",
Belgorod Shukhov State Technological University,
46 Kostyukova St., Belgorod 308012,
Russia,
Professor of the Department of Construction
Technologies and Structural Materials,
Peoples' Friendship University of Russia
named after Patrice Lumumba,
6 Miklukho-Maklaya St., Moscow 117198,
Russia,
e-mail: klyuyev@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1995-6139>
Author ID: 529053

Исмаилов Алексей Марленович,

к.т.н., доцент Высшей школы
промышленно-гражданского и дорожного
строительства,
Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого,
195251 г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая,
д. 29 литера Б, Россия,
e-mail: ismailov-aleksei@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9325-2335>
Author ID: 877001

Alexey M. Ismailov,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Higher School of Industrial, Civil and Road
Construction,
Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic
University, Russia,
29B Politechnicheskaya St.,
Saint Petersburg 195251, Russia,
e-mail: ismailov-aleksei@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9325-2335>
Author ID: 877001

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests
regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 17.01.2025.
Одобрена после рецензирования 27.01.2025.
Принята к публикации 28.01.2025.

Information about the article

The article was submitted 17.01.2025.
Approved after reviewing 27.01.2025.
Accepted for publication 28.01.2025.



Проектирование пешеходных переходов с учетом комфорта и безопасности участников дорожного движения

С.Л. Чикалина

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Аннотация. Безопасность дорожного движения является актуальной проблемой городской среды. Недостаточные меры по безопасности в зонах размещения пешеходных переходов приводят к опасным ситуациям на дороге. Следовательно, исследования в этой области имеют значение в обеспечении безопасности пешеходов и водителей, а также в улучшении условий на городских дорогах. В данном исследовании выполнена оценка эффективности существующей организации движения в зонах размещения пешеходных переходов, предложены мероприятия по ее совершенствованию, а также план и способы организации для конфликтных объектов. На основании проведенных исследований были представлены решения данной проблемы, например, такие как установка дополнительных дорожных знаков и нанесение дополнительной разметки, предупреждающих о наличии пешеходного перехода и обязывающих водителей уступать дорогу. Кроме того, в зонах размещения пешеходных переходов могут устанавливаться дополнительные светофоры, позволяющие контролировать движение пешеходов и автомобилей. Одним из важных аспектов обеспечения безопасности пешеходов и минимизации риска возникновения дорожно-транспортных происшествий является оптимальное размещение пешеходных переходов на дорогах. В связи с этим было проведено исследование пешеходных переходов на улично-дорожной сети г. Иркутска. Для устранения проблемы задержек и заторов на дорогах предложено техническое решение, которое включает в себя реконструкцию типичного проблемного перекрестка автомобильных дорог.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, пешеходный переход, конфликтные ситуации, организация дорожного движения

Для цитирования: Чикалина С.Л. Проектирование пешеходных переходов с учетом комфорта и безопасности участников дорожного движения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 1. С. 133–144. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-133-144>. EDN: KOYDAX.

Original article

Crosswalks design in view of comfort and safety of road users

Svetlana L. Chikalina

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. Road traffic safety presents a common problem for urban environment. Insufficient safety measures in crosswalk areas lead to dangerous road situations. Consequently, relevant studies in ensuring pedestrian and driving safety as well as in improving urban road conditions are of importance. In this study, we set out to evaluate the effectiveness of the existing traffic management in crosswalk areas, to propose measures for its improvement, and to propose a plan and organization methods for conflict sites. Based on the conducted studies, solutions to this problem were proposed, i.e., installing additional road signs and road markings that warn of approaching crosswalks and require drivers to yield to pedestrians. In addition, crosswalk areas can be equipped with additional traffic lights controlling pedestrian and car traffic. One of the key aspects in ensuring pedestrian safety and minimizing the risk of accidents consists in determining optimal places to install crosswalks. In this regard, crosswalks of streets network in the

city of Irkutsk, Russia were studied. To eliminate the problem of road congestion, we proposed a technical solution implying a reconstruction of a typical problematic road intersection.

Keywords: traffic safety, pedestrian crossing, conflict situations, traffic management

For citation: Chikalina S.L. Crosswalks design in view of comfort and safety of road users. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(1):133-144. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-133-144>. EDN: KOYDAX.

ВВЕДЕНИЕ

Пешеходные переходы – одни из самых важных элементов дорожной инфраструктуры, предназначенные для обеспечения безопасного перехода дороги пешеходами. Согласно статистике, они являются наиболее конфликтными объектами улично-дорожной сети [11, 15, 22]. Связано это с их некорректным расположением или отсутствием, что негативно сказывается на дорожно-транспортной ситуации.

В одном из опросов о концепции изменения городского пространства респонденты г. Иркутска выбрали концепцию поэтапной трансформации небольших зон для удобства пешеходов и велосипедистов [16].

Исследования в области организации дорожного движения на пешеходных переходах являются актуальными в современном мире, на дорогах которого постоянно растет количество автомобилей, а значит и число аварий. Особенно велико их количество с участием пешеходов, многие из них связаны с переходом дороги в неположенном месте или при неподходящих дорожных условиях.

Одной из причин дорожно-транспортных происшествий с участием пешеходов является неправильное расположение пешеходных переходов.

Например, расположение перехода на дороге с высоким скоростным режимом движения транспорта или в зоне ограниченной видимости. Также причиной является несоблюдение водителями правил проезда пешеходного перехода, что также приводит к дорожно-транспортным происшествиям.

Целью исследования является формирование стратегии управления транспортными и пешеходными потоками, разработка строительных решений для борьбы с дорожно-транспортными происшествиями на улицах и дорогах.

Учитывая индивидуальные особенности городской инфраструктуры и анализируя данные об аварийности и расположении пешеходных переходов, можно выявить наиболее опасные места и предложить соответствующие

мероприятия по повышению безопасности и комфортности движения на улично-дорожной сети.

Организация движения в зонах размещения пешеходных переходов должна быть направлена на обеспечение безопасности дорожного движения и включать в себя проведение мероприятий по повышению осведомленности всех участников дорожного движения [8]. К таким мероприятиям относятся улучшение видимости, установка дополнительных дорожных знаков и светофоров, ограждений и препятствий, способствующих безопасному поведению [1]. Ввиду этого любое проектное решение по организации дорожного движения должно обеспечивать организованное безопасное и комфортное движение автомобилей, пешеходов и велосипедистов. При этом каждое решение по организации дорожного движения (планировочное, организационное или управленческое) должно быть оценено с точки зрения его эффективности [5].

МЕТОДЫ

В г. Иркутске, как и во многих других городах, безопасность пешеходов на перекрестках является одной из наиболее важных задач городской инфраструктуры. Для повышения уровня безопасности пешеходов было проведено исследование улично-дорожной сети, направленное на определение оптимального расположения пешеходных переходов и создание инновационных решений и технологий в целях повышения комфортности и безопасности на дорогах. По известным методикам выполнены исследования условий движения и характеристик пешеходно-транспортных потоков в разных ситуациях [3, 5, 6, 7].

Первая ситуация

Проезд нерегулируемого перекрестка по второстепенной дороге с пересечением главной дороги. В этом случае водитель должен учесть наличие пешеходного перехода как до перекрестка, так и после него, и убедиться в безопасности маневра. Он должен уступить дорогу пешеходам и при этом не создать конфликтную ситуацию на главной дороге (рис. 1).

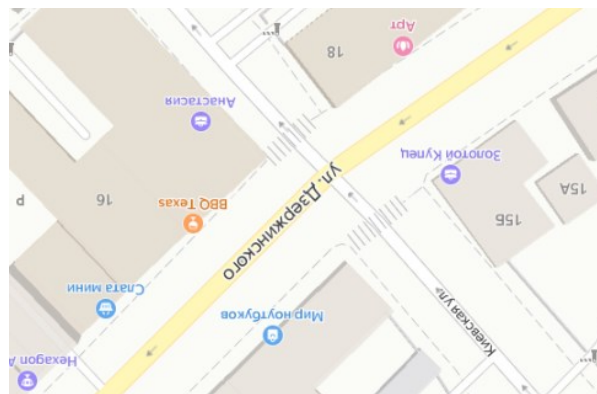


Рис. 1. Пересечение ул. Киевская и Дзержинского
Fig. 1. Intersection of Kievskaya and Dzerzhinskogo St.

Как показывает практика, водитель не всегда может убедиться в безопасности маневра. Например, при слишком близком расположении пешеходного перехода к перекрестку или большой интенсивности пешеходов, переходящих дорогу, автомобилю приходится останавливаться непосредственно на переходе, тем самым перекрывая движение пешеходам и создавая аварийную ситуацию. Также, когда водитель планирует пересечь дорогу, а пешеходный переход расположен близко к ее краю, он вынужден остановиться на главной дороге поперек основного потока транспорта, создавая опасную ситуацию. При этом автомобиль может занимать одну или две полосы движения (в зависимости от его габаритов) и стать причиной возникновения конфликтной ситуации с другими автомобилями. Водители вынуждены маневрировать вокруг него, что приводит к снижению скорости движения и задержкам транспорта.

Вторая ситуация

Когда пешеходный переход находится сразу за поворотом, автомобиль, поворачивая, встречается с переходящими пешеходами, и в ожидании окончания перехода занимает полосу движения на дороге, с которой повернул (рис. 2).

Если водитель неправильно оценил скорость движения других автомобилей и не оставил достаточное пространство для маневра, он может столкнуться с пешеходами или другими автомобилями.

Особенно внимательным водитель должен быть при проезде пешеходного перехода, если на нем находятся люди с ограниченными возможностями.

Он должен остановиться на безопасном расстоянии от пешеходного перехода, даже если пешеход еще не начал переходить дорогу, и дать возможность комфортно и безопасно перейти дорогу.

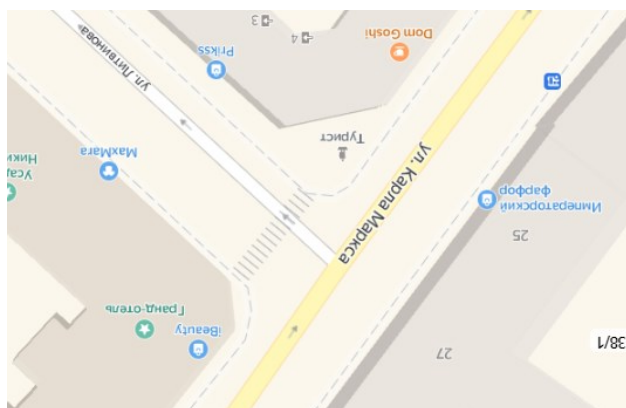
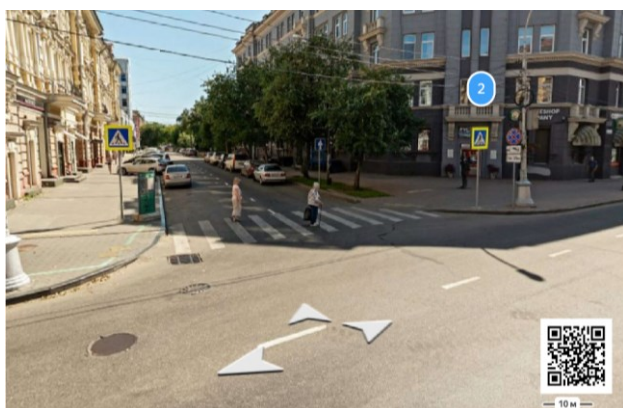


Рис. 2. Пересечение ул. Карла Маркса и Литвинова
Fig. 2. Intersection of Karl Marx and Litvinov St.

Третья ситуация

Размещение пешеходных переходов непосредственно за поворотом в местах с ограниченной видимостью (рис. 3). Водители могут не

увидеть наличие пешеходного перехода и пешеходов на нем.

Причинами возникновения таких ситуаций являются: маленький угол поворота, наличие

угла здания или другого сооружения, деревьев и кустарников, конструктивные особенности автомобиля.

Пешеходы также могут не заметить находящийся за поворотом автомобиль, что может привести к авариям. В условиях ограниченной видимости водителям важно соблюдать скоростной режим и быть особенно внимательными.

Для предотвращения таких ситуаций рекомендуется размещать пешеходные переходы на безопасном расстоянии от перекрестков и

обеспечивать видимость всех участников дорожного движения.

Четвертая ситуация

Переход проезжей части пешеходами вне пешеходного перехода. Одной из причин является нарушение технологии строительства дорожной одежды.

В местах сопряжения тротуара с проезжей частью высота дорожного покрытия в процессе эксплуатации становится ниже, чем на проезжей части, что приводит к образованию луж после дождя или во время таяния снега (рис. 4).

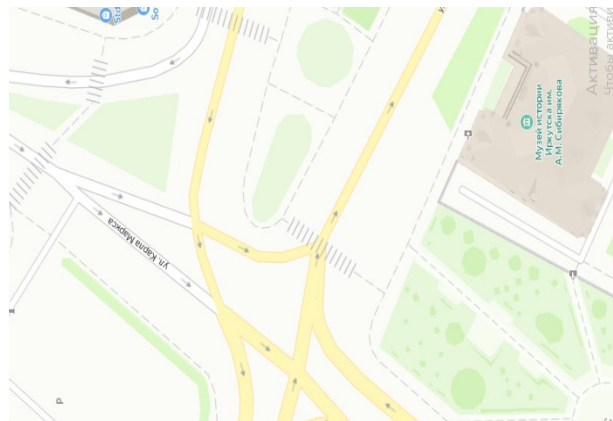
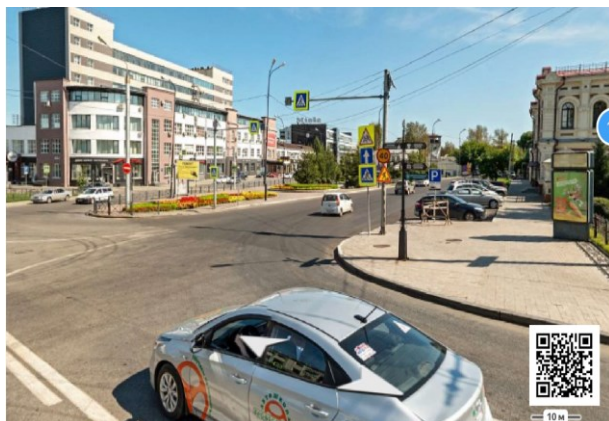


Рис. 3. Пересечение ул. Карла Маркса и Франк-Каменецкого
Fig. 3. Intersection of Karl Marx and Frank Kamenetsky St.



Рис. 4. Переход проезжей части вне пешеходного перехода
Fig. 4. Crossing the roadway outside the crosswalk

В таком случае пешеходы вынуждены переходить проезжую часть вне пешеходного перехода, создавая при этом конфликтные ситуации и помехи движению транспортных средств.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При анализе дорожно-транспортной ситуации важно учитывать параметры пешеходных и транспортных потоков, транспортно-эксплуатационное состояние улиц и дорог. Наиболее

значимыми являются показатели, определяющие интенсивность движения, состав потока и состояние дороги. Интенсивность движения показывает количество транспортных средств, проходящих по дороге за определенный период времени.

Состав потока характеризует типы транспортных средств, их габариты и скорость. Эксплуатационное состояние автомобильных дорог, не соответствующее установленным

транспортно-эксплуатационным показателям дорог и сооружениям на них, также приводит к задержкам, конфликтным ситуациям и возникновению аварий. Учитывая эти параметры, можно оценить потребности дорожной инфраструктуры и принять решение о необходимости ее модернизации. Исследование задержек

транспортных средств на перекрестках проводилось по известным методикам [9, 18, 19, 20]. Для более точного обследования применялась видеосъемка.

Примеры протоколов исследований приведены в табл. 1–3. Все замеры проводились в течении 10 мин. на каждом исследовании.

Таблица 1. Пересечение ул. Дзержинского и Киевской (1 ситуация)

Table 1. Intersection of Dzerzhinskogo and Kievskaya St. (1 situation)

№	Число автомобилей, прошедших без остановки	Число остановившихся автомобилей	Количество ситуаций, с вынужденной остановкой/замедлением перпендикулярного потока
1	26	5	2
2	13	8	5
3	29	9	3
4	7	23	12
5	14	12	5
6	17	25	14

Таблица 2. Пересечение ул. Карла Маркса и Литвинова (2 ситуация)

Table 2. Intersection of Karl Marx and Litvinova St. (2 situations)

№	Число автомобилей, прошедших без остановки	Число остановившихся автомобилей	Количество ситуаций, поворачивающих автомобилей после преграждения дороги	Количество ситуаций, проезжающих прямо автомобилей после преграждения дороги
1	13	11	3	8
2	17	10	4	6
3	16	9	3	6
4	2	15	7	8
5	3	24	3	21
6	9	16	4	12

Таблица 3. Пересечение ул. Карла Маркса и Франк Каменецкого (3 ситуация)

Table 3. Intersection of Karl Marx and Frank Kamenetsky St. (3 situations)

№	Число автомобилей, прошедших без преграждения пути пешеходу	Число автомобилей, прошедших с преграждением пути пешеходу
1	20	12
2	15	18
3	12	2
4	5	13
5	25	3
6	17	15

Анализ полученных данных позволяет определить возможные причины задержек и разработать меры по их устранению. Стоит отметить, что данная методика не позволяет оценить все аспекты задержек транспортных средств на перекрестках. Для полного изучения этой проблемы необходимо использовать более широкий набор методов и инструментов, таких как анализ проблемных зон, изучение пути следования транспортных потоков и оценка геометрических параметров дороги [12]. По результатам исследования было установлено, что наличие пешеходного перехода

за перекрестком напрямую влияет на задержки транспорта, безопасность и комфортность участников дорожного движения (рис. 5).

В результате исследования были предложены рекомендации по реконструкции и оборудованию существующих пешеходных переходов с учетом условий и характеристик дорожного движения.

Первая ситуация

Результаты исследований пересечений улиц, на которых водители второстепенного потока должны учитывать присутствие пешеходного перехода за перекрестком, и при этом

обеспечить безопасность своего маневра, представлены в табл. 1. Водитель автомобиля, увидев, что можно пересечь дорогу, начинает ускоряться, но в этот момент на пешеходном переходе появляется пешеход. В результате водитель вынужден резко остановить транспортное средство, что приводит к конфликтной ситуации на дороге [23].

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что при расположении пешеходного перехода в непосредственной близости к пере-

крестку, 16 % автомобилей, проезжающих через этот перекресток, создают аварийные ситуации. Более 40 % проезжающих автомобилей останавливаются на пешеходном переходе, создавая некомфортные условия для пешеходов, переходящих дорогу: скопление людей перед остановившимся автомобилем, изменение траектории движения при обходе автомобиля, увеличение времени перехода дороги, снижение видимости, шум, выбросы выхлопных газов [4].

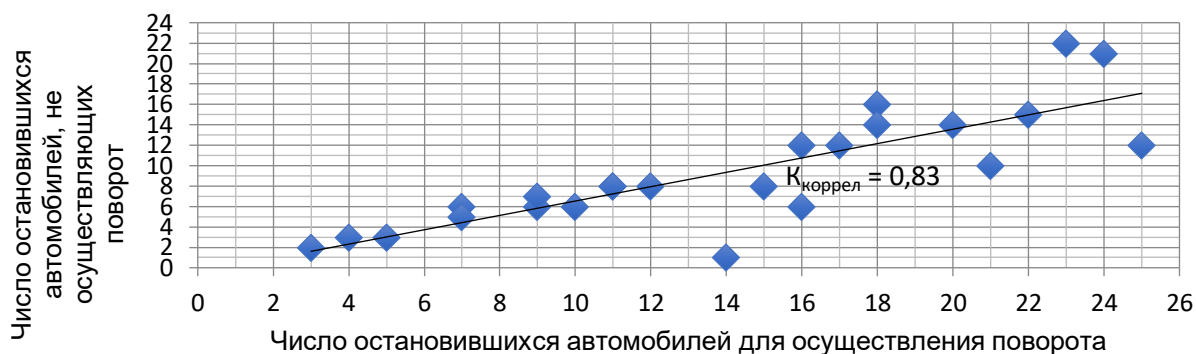


Рис. 5. Влияние числа автомобилей, остановившихся перед пешеходным переходом, на величину задержек

Fig. 5. Influence of the number of cars stopped in front of the pedestrian crossing on the magnitude of delays

Все перечисленные факторы становятся причиной возникновения конфликтных ситуаций между водителем и пешеходом и приводят к дорожно-транспортным происшествиям. Однако если пешеходный переход перенести на некоторое расстояние от перекрестка, то количество конфликтных ситуаций можно сократить.

Вторая ситуация

Анализ задержек транспортных средств (табл. 2) позволяет сделать вывод, что 50 % автомобилей, которые поворачивают, сталкиваются с пешеходами, что вынуждает их остановиться. Это приводит к задержкам движения для следующих за ними.

Исходя из данных, можно сделать вывод, что одной из причин возникновения пробок на дорогах являются задержки, вызванные поведением пешеходов.

В ситуациях, когда пешеходы пересекают проезжую часть на перекрестках, автомобили, следующие за остановившемся автомобилем, вынуждены также останавливаться и ожидать завершения перехода пешеходами.

Такая ситуация может приводить к задержкам в движении для идущих за ними автомобилей, создавать заторовые ситуации на дорогах. Выявлено, что около 50 % водителей, которым не нужно поворачивать, вынуждены

также останавливаться в очереди, и только потом могут проехать прямо, что также способствует возникновению задержек и пробок на дорогах.

Для снижения задержек на дорогах и улучшения безопасности всех участников дорожного движения важно принимать меры, направленные на уменьшение количества столкновений и задержек на перекрестках.

Например, установка светофора с вызывным устройством или пешеходный переход, размещенный на удаленном расстоянии от перекрестка. Также целесообразно проводить мероприятия по повышению осведомленности пешеходов и водителей. Помимо технических мер, важно обращать внимание на воспитание культуры дорожного движения и соблюдение правил всеми участниками.

Предлагаемые строительные решения

Для повышения безопасности и удобства передвижения автомобилей, в том числе и в контексте указанных параметров, была предложена типовая реконструкция перекрестка [10].

При изучении проблемных перекрестков, на которых происходят взаимодействия автомобилей и пешеходов, транспортному средству, двигающемуся прямо, приходится пересекать два пешеходных перехода. На первом

он вынужден остановиться и оценить транспортную ситуацию на пересекаемой дороге.

В результате, он останавливается прямо на пешеходном переходе и ставит под угрозу безопасность переходящих пешеходов. Затем он пересекает второй переход за перекрестком. Если на нем находятся пешеходы, то водитель вынужден остановиться, перекрывая одну полосу движения и замедляя движение для других транспортных средств. Для предотвращения таких ситуаций предлагается размещать пешеходные переходы на безопасном расстоянии от перекрестков. Важно учитывать особенности местности и трафика при выборе места для его размещения.

Например, на участках дорог с высокой скоростью движения автомобилей необходимо размещать переходы на большом расстоянии друг от друга, чтобы дать водителям достаточно времени на замедление и остановку перед ним.

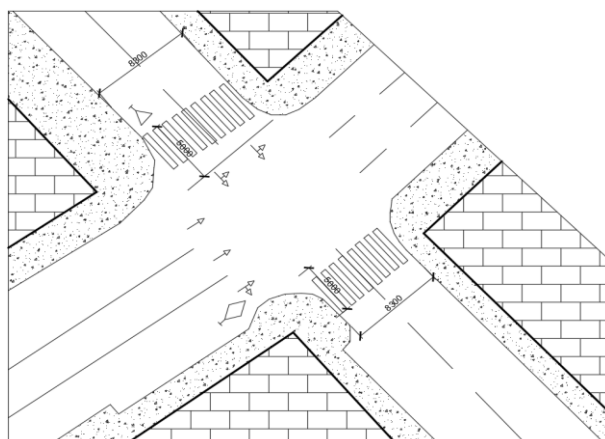


Рис. 6. Существующая ситуация на пересечении улиц

Fig. 6. Existing situation at street intersection

Также стоит учитывать особенности конкретного места размещения пешеходного перехода и применять инновационные решения, такие как использование различных типов сигнализации, дополнительного освещения и других технологий, способствующих улучшению безопасности на дорогах [2, 14, 21, 24]. Так, на пешеходных переходах специалисты устанавливают проекционную дорожную разметку. Оборудование, установленное над переходом, создает яркий световой коридор с помощью светодиодных проекторов с цветными фильтрами. Такая разметка не сотрется со временем и хорошо заметна в темное время суток при любой погоде [17]. Выступы бордюра на перекрестках, на пешеходных переходах и на перегонах позволяют исключить ограничение

Необходимо учитывать плотность пешеходного потока и возможность использования различных технологий и средств, таких как светофоры, знаки и маркировка, для обеспечения безопасности пешеходов на дороге.

Для реконструкции пешеходного перехода рекомендуется использовать следующее типовое решение (рис. 6, 7):

1. Перенос зоны пешеходного перехода на безопасное расстояние от пересечения дороги, чтобы обеспечить достаточный промежуток для замедления и остановки транспортных средств перед переходом. Стоит отметить, что расстояние, на которое следует перенести пешеходный переход, должно быть не менее пяти метров.

2. Установка ограждения, которое поможет предотвратить «перебежки» пешеходов в неположенном месте, а также обеспечит безопасность для пешеходов, особенно для детей и людей с ограниченными возможностями.

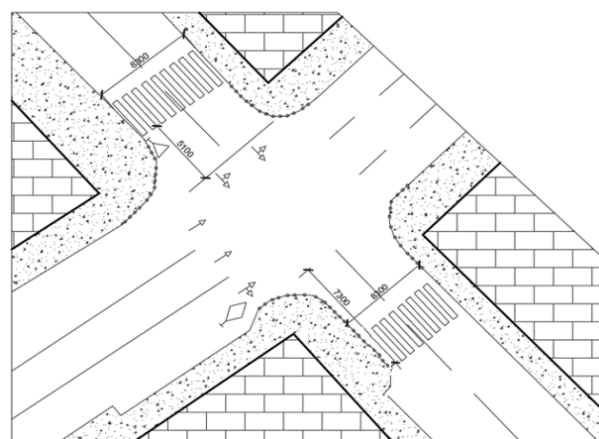


Рис. 7. Предлагаемое решение по реконструкции пересечения улиц

Fig. 7. Proposed solution for the reconstruction of the street intersection

видимости (рис. 9) [13]. Хотя предложенные технические решения не являются решением для всех проблем, связанных с перекрестками, но они могут помочь снизить количество конфликтных ситуаций на дорогах и сократить время задержек автомобилей на перекрестках. Также можно установить дополнительные знаки и разметку на дороге, которые будут напоминать водителям о необходимости уступить дорогу пешеходам на пешеходных переходах.

В результате применения таких решений можно ожидать снижения количества аварий и травмоопасных ситуаций на перекрестках, а также более плавное движение автомобилей и сокращение времени, затрачиваемого на проезд перекрестков.

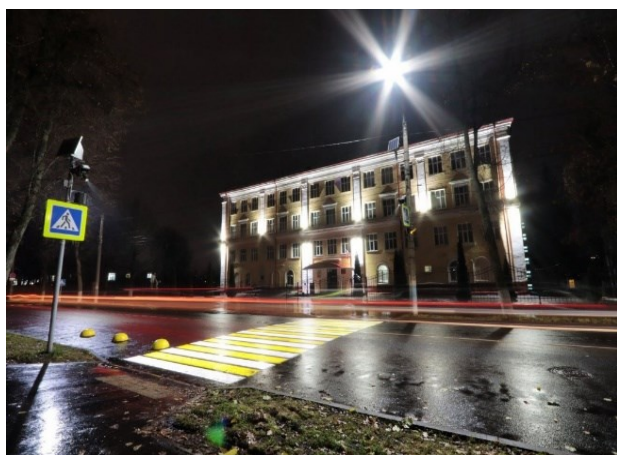


Рис. 8. Проекционная дорожная разметка [17]
Fig. 8. Projection road markings [17]



Рис. 9. Примеры выступов бордюров на перекрестке [13]
Fig. 9. Examples of curb protrusions at an intersection [13]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе проведено исследование перекрестков с наличием пешеходных переходов. Проведенное исследование показало, что на центральных улицах г. Иркутска существует риск возникновения аварийных ситуаций, связанный с местоположением пешеходных переходов. Для обеспечения безопасности дорожного движения необходимо принять соответствующие меры.

Одним из возможных решений проблемы является реконструкция перекрестков, повышающая комфортность движения транспортного потока, снижающая вероятность возникновения конфликтов на перекрестках. Кроме того, возможны и другие меры для повышения безопасности движения на перекрестках. Например, установка дополнительных светофоров и знаков, улучшение видимости водителей и пешеходов. Также может быть полезно проведение мероприятий по повышению осведомленности участников дорожного движения о правилах и опасностях на перекрестках. Полученные данные свидетельствуют о том, что на дорогах часто возникают пробки из-за за-

держек, которые могут быть вызваны как движущимися, так и остановившимися автомобилями.

Причиной задержек могут также быть пешеходы, которые пересекают дорогу на перекрестках и вынуждают автомобили, следующие за ними, останавливаться и ждать. Это может привести к задержкам в движении и созданию пробок на дорогах.

Таким образом, для решения проблемы транспорта и дорожной инфраструктуры в г. Иркутске, необходимо осуществить комплекс мер, включающий в себя снижение плотности транспортного потока, разработку систем управления дорожным движением, обучение водителей строгому соблюдению правил дорожного движения и регулярное обновление инфраструктуры дорог.

Кроме того, важным аспектом является также государственный контроль за соблюдением правил дорожного движения, который может повысить уровень безопасности. Реализация комплекса таких мер может повысить уровень комфорта жизни граждан и защитить их здоровье и жизнь.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Артемов А.Ю., Дорохин С.В. Меры по снижению уровня аварийности на пешеходных переходах Воронежской области // Информационные технологии и инновации на транспорте. Материалы 5-ой Междунар. науч.-практ. конф. (г. Орёл, 22–23 мая 2019 г.). Орёл, 2019. С. 205–208. EDN: YVLWWR.
2. Волкова Е.В., Мотчанова А.А. Применение современных технологий на солнечной энергии для повышения уровня безопасности движения пешеходов // Молодежный вестник ИРГТУ. 2022. Т. 12. № 2. С. 311–316. EDN: INIQKR.
3. Врубель Ю.А. Организация дорожного движения: в 2 ч. Минск: Белорусский фонд безопасности дорожного движения, 1996. Ч. 2. 306 с.

4. Донченко В.В., Трофименко Ю.В., Шаров М.И., Шелмаков С.В., Лобиков А.В., Чижова В.С. Методические основы организации экологических зон с низкими выбросами автомобильного транспорта: монография. СПб: Коста, 2023. 264 с.
5. Капский Д.В., Кузьменко В.Н., Коржова А.В., Горелик Е.Н., Полховская А.С. Совершенствование организации дорожного движения на магистральной улице общегородского значения // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2012. № 3. С. 15–20. EDN: TSCAQJ.
6. Капский Д.В., Пегин П.А., Головнич А.К., Иванов В.П. Аудит дорожного движения - инструмент повышения безопасности движения // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2018. № 3. С. 22–33. EDN: USPNVS.
7. Капский Д.В., Кот Е.Н., Кабак С.В. Применение аудита безопасности дорожного движения на магистральных улицах городов // Автомобильные дороги и мосты. 2010. № 2 (6). С. 127–137. EDN: PWUXQO.
8. Левашев А.Г., Шаров М.И., Лебедева О.А., Лыткина А.А., Бутузова А.Б., Прокофьева О.С. [и др.] Транспортное планирование в развитии Иркутской агломерации // Проект Байкал. 2021. Т. 18. № 70. С. 94–98. <https://doi.org/10.51461/projectbaikal.70.1896>. EDN: QBYHCB.
9. Наумова Н.А. Метод определения задержек транспортных средств на перекрестках с учетом пешеходного движения // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 8. С. 116–120. EDN: XZBTIL.
10. Пospelов П.И., Костин С.В., Немчинов Д.М., Мартягин Д.С., Бахирев И.А., Косцов А.В. [и др.] Проектирование улиц и дорог в городах и городских округах. М.: Петрополис, 2022. 232 с. EDN: WLYUHM.
11. Абаев А.Х., Сивакова И.Н. Повышение безопасности на нерегулируемых пешеходных переходах // Науч.-техн. аспекты развития автотранспортного комплекса 2023. Материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. (заоч.-дист.) в рамках 9-го Международного научного форума Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: инфраструктурное и социально-экономическое развитие» (г. Горловка, 25 мая 2023 г.). Горловка, 2023. С. 208–213. EDN: MHRWRQ.
12. Пугачев И.Н. Организация движения автомобильного транспорта в городах. Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2005. 196 с. EDN: QNSVGZ.
13. Филиппов А.И., Трясицин А.П., Баранов Ю.Н., Катунин А.А. Исследование безопасности пешеходных переходов // Ресурсосбережение. Эффективность. Развитие. Материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. (г. Донецк, 29 октября 2021 г.). Донецк, 2021. С. 843–847. EDN: SNYSRI.
14. Свалова К.В. Повышение безопасности пешеходных переходов на основе оценки степени их освещенности в Центральном районе г. Чита // Транспортные сооружения. 2023. Т. 10. № 3. С. 1–18. <https://doi.org/10.15862/09SATS323>. EDN: YOGTSL.
15. Севостьянов Р.А. Вопросы детерминации дорожных конфликтов // Вопросы российского и международного права. 2020. Т. 10. № 2-1. С. 46–53. <https://doi.org/10.34670/AR.2020.93.2.007>. EDN: FLCVHO.
16. Сидорова А.А., Козлов В.В. Применение социологических методов исследования в практике организации прибрежных территорий (на примере г. Иркутска) // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 4. С. 752–759. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-4-752-759>. EDN: JYMAEE.
17. Павлова Л.В., Сиукаев Р.И. Проекционные пешеходные переходы // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 86-2. С. 82–85. <https://doi.org/10.18411/trnio-06-2022-71>. EDN: TTBRCH.
18. Цариков А.А., Лихачев Д.В. Изучение суточной неравномерности движения пешеходов в промышленных зонах городов России // Воронежский научно-технический вестник. 2023. Т. 1. № 1. С. 83–93. <https://doi.org/10.34220/2311-8873-2023-83-93>. EDN: MLPAYY.
19. Чикалин Е.Н. Анализ задержек транспортных средств на нерегулируемых пешеходных переходах // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. № 9 (68). С. 168–174. EDN: PDCGDZ.
20. Шаров М.И., Лысенко В.Г., Добрынина В.С. Обзор и анализ методов обследования дорожного движения, использующих современные информационные, технологические и программные решения для регистрации значений основных параметров, характеризующих дорожное движение // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2022. № 16. С. 165–172. EDN: GOQXWY.
21. Штоцкий Г.П., Штоцкая А.А. Способы обеспечения безопасности пешеходов при переходе проезжей части // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте (ИИТМА-2020). Сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф. с онлайн-участием (г. Кемерово, 07–10 декабря 2020 г.). Кемерово, 2020. С. 544–547. EDN: QCOUNK.

22. Юшина К.А. Конфликтные ситуации и их влияние на состояние аварийности на дорогах // Управление деятельностью по обеспечению безопасности дорожного движения: состояния, проблемы, пути совершенствования. Сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции (г. Орёл, 25–26 апреля 2024 г.). Орёл, 2024. С. 233–237. EDN: CSDOXD.
23. Karimov N.M., Pirov J.T., Mikhaylov A.Yu. Critical Headway and Follow-Up Time Analysis at Two-Lane Roundabouts // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 403. P. 1–11. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340307015>.
24. Sharov M., Mikhailov A. Urban Transport System Reliability Indicators // Transportation Research Proceedings. 2017. Vol. 20. P. 591–595. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.01.095>.

REFERENCES

1. Artemov A.Yu., Dorokhin S.V. Measures to Reduce the Emergency Level at The Pedestrian Journeys of the Voronezh Region. In: *Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte. Materialy 5-oi Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Information Technologies and Innovations in Transport. Materials of The 5th International Scientific and Practical Conference*. 22–23 May 2019, Oryol. Oryol; 2019. p. 205–208. (In Russ.). EDN: YVLWWR.
2. Volkova E.V., Motchanova A.A. Modern Solar-Powered Technologies Usage to Improve Pedestrian Safety. *Young Researchers' Journal of ISTU*. 2022;12(2):311-316. (In Russ.). EDN: INIQKR.
3. Vruble' Yu.A. *Traffic Management: in 2 Parts*. Minsk: Belarusian Road Safety Foundation, 1996. P. 2. 306 p. (In Russ.).
4. Donchenko V.V., Trofimenko Yu.V., Sharov M.I., Shelmakov S.V., Lobikov A.V., Chizhova V.S. *Methodological Basis for Organizing Ecological Zones with Low Emissions from Motor Transport: Monograph*. Saint Petersburg: Costa, 2023. 264 p. (In Russ.).
5. Kapsky D.V., Kuzmenko V.N., Korzhova A.V., Gorelick E.N., Polkhovsky A.S. Improvement of Road Traffic On Main Street of City. *Vestnik of Polotsk State University. Part B. Industry. Applied Sciences*. 2012;3:15-20. (In Russ.). EDN: TSQAQJ.
6. Capski D.V., Pagin P.A., Golovnitsch A.K., Ivanov V.P. Audit of The Road – A Tool to Improve Safe Traffic News. *Vestnik of Polotsk State University. Part B. Industry. Applied Sciences*. 2018;3:22-33. (In Russ.). EDN: USPNSV.
7. Kapsky D.V., Kot E.N., Kabak S.V. Application of Road Traffic Safety Auditing in Main City Streets. *Avtomobil'nye dorogi i mosty*. 2010;2(6):127-137. (In Russ.). EDN: PWUXQO.
8. Levashev A.G., Sharov M.I., Lebedeva O.A., Lytkina A.A., Butuzova A.B., Prokofieva O.S. [et al.] The Role of Transport Planning in The Sustainable Development of the Irkutsk Agglomeration. *Project Baikal*. 2021;18(70):94-98. (In Russ.). <https://doi.org/10.51461/projectbaikal.70.1896>. EDN: QBYHCB.
9. Naumova N.A. The Method of Estimation of Transport Delays at Intersections Taking into Account Pedestrian Flows. *Modern High Technologies*. 2018;8:116-120. (In Russ.). EDN: XZBTIL.
10. Pospelov P.I., Kostin S.V., Nemchinov D.M., Martyakhin D.S., Bakhirev I.A., Kostsov A.V. [et al.] *Design of Streets and Roads in Cities and Urban Districts*. Moscow: Petropolis, 2022. 232 p. (In Russ.). EDN: WLYUHM.
11. Abaev A.Kh., Sivakova I.N. Increasing Safety at Unregulated Pedestrian Crossings. In: *Nauchno-tekhnicheskie aspekty razvitiya avtotransportnogo kompleksa 2023. Materialy IKh Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (zaочно-distantionnaya) v ramkakh 9-go Mezhdunarodnogo nauchnogo foruma Donetskoi Narodnoi Respubliki «Innovatsionnye perspektivy Donbassa: infrastrukturalnoe i sotsial'no-ekonomicheskoe razvitiye» = Scientific and Technical Aspects of the Development of the Motor Transport Complex 2023. Proceedings of The IX International Scientific and Practical Conference (In Absentia and Distance Learning) Within The Framework of The 9th International Scientific Forum of the Donetsk People's Republic «Innovative Prospects of Donbass: Infrastructure and Socio-Economic Development»*. 25 May 2023, Gorlovka. Gorlovka; 2023. p. 208–213. (In Russ.). EDN: MHRWRQ.
12. Pugachev I.N. *Organization of Road Transport Traffic in Cities*. Khabarovsk: Pacific State University, 2005. 196 p. (In Russ.). EDN: QNSVGZ.
13. Filippov A.I., Tryashtsin A.P., Baranov Yu.N., Katunin A.A. Pedestrian Crossing Safety Research. In: *Resursosberezhenie. Effektivnost'. Razvitiye. Materialy VI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Resource Conservation. Efficiency. Development. Proceedings of The VI International Scientific and Practical Conference*. 29 October 2021, Donetsk. Donetsk; 2021. p. 843–847. (In Russ.). EDN: SNYSRI.
14. Svalova K.V. Improving The Safety of Pedestrian Crossings Based On the Illumination Degree Assessment in The Central District of Chita City. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2023;10(3):1-18. (In Russ.). <https://doi.org/10.15862/09SATS323>. EDN: YOGTSL.
15. Sevost'yanov R.A. The Questions of Determination of Traffic Conflicts. *Matters of Russian and International Law*. 2020;10(2-1):46-53. (In Russ.). <https://doi.org/10.34670/AR.2020.93.2.007>. EDN: FLCVHO.

16. Sidorova A.A., Kozlov V.V. Application of Sociological Research Methods in Organising Coastal Territories (On an Example of Irkutsk). *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11(4):752-759. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-4-752-759>. EDN: JYMAEE.
17. Pavlova L.V., Siukaev R.I. Projection Pedestrian Crossings. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2022;86-2:82-85. (In Russ.). <https://doi.org/10.18411/trnio-06-2022-71>. EDN: TTBRXC.
18. Tsarikov A.A., Likhachev D.V. Study of The Daily Unevenness of Pedestrian Traffic in Industrial Zones of Russian Cities. *Voronezh Scientific and Technical Bulletin*. 2023;1(1):83-93. (In Russ.). <https://doi.org/10.34220/2311-8873-2023-83-93>. EDN: MLPAYY.
19. Chikalin E.N. Analysis of Vehicle Delays at Non-Controlled Pedestrian Crossings. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2012;9(68):168-174. (In Russ.). EDN: PDCGDZ.
20. Sharov M.I., Lysenko V.G., Dobrynina V.S. Review and Analysis of Traffic Survey Methods Using Modern Information, Technological and Software Solutions for Registration of the Values of the Main Parameters Characterizing Road Traffic. *Bulletin of The Angarsk State Technical University*. 2022;16:165-172. (In Russ.). EDN: GOQXWY.
21. Shtotskiy G.P., Shtotskaya A.A. Ways to Ensure Pedestrian Safety When Crossing the Roadway. In: *Innovatsii v informatsionnykh tekhnologiyakh, mashinostroenii i avtotransporte (IITMA-2020). Sbornik materialov IV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s onlain-uchastiem = Innovations in Information Technology, Mechanical Engineering and Motor Transport (IITMA-2020). Collection of Materials of The IV International Scientific and Practical Conference with Online Participation*. 07–10 December 2020, Kemerovo. Kemerovo; 2020. p. 544–547. (In Russ.). EDN: QCOUHK.
22. Yushina K.A. Conflict Situations and Their Impact On the Accident Rate On the Roads. In: *Upravlenie deyatel'nost'yu po obespecheniyu bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya: sostoyaniya, problemy, puti sovershenstvovaniya. Sbornik materialov XVIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Management of Activities to Ensure Road Safety: Conditions, Problems, Ways of Improvement. Collection of Materials of The XVIII International Scientific and Practical Conference*. 25–26 April 2024, Orel. Orel; 2024. p. 233–237. EDN: CSDOXD.
23. Karimov N.M., Pirov J.T., Mikhaylov A.Yu. Critical Headway and Follow-Up Time Analysis at Two-Lane Roundabouts. *E3S Web of Conferences*. 2023;403:1-11. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340307015>.
24. Sharov M., Mikhailov A. Urban Transport System Reliability Indicators. *Transportation Research Procedia*. 2017;20:591-595. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.01.095>.

Информация об авторе

Чикалина Светлана Леонидовна,
к.т.н., доцент кафедры автомобильных дорог,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉ e-mail: chikalinasveta@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0003-9141-964X>
Author ID: 504538

Information about the author

Svetlana L. Chikalina,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor
of the Departments of Highways,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉ e-mail: chikalinasveta@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0003-9141-964X>
Author ID: 504538

Вклад автора

Автор выполнил исследовательскую работу,
на основании полученных результатов провел
обобщение, подготовил рукопись к печати.

Автор имеет на статью исключительные
авторские права и несет ответственность за
плагиат.

Contribution of the author

The author performed the research, made
generalization based on the results obtained
and prepared the copyright for publication.

Author has exclusive author's right and bear
responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта
интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный
вариант рукописи.

Conflict of interests

The author declare no conflict of interests regarding
the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved
by the author.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 09.01.2025.
Одобрена после рецензирования 23.01.2025.
Принята к публикации 24.01.2025.

Information about the article

The article was submitted 09.01.2025.
Approved after reviewing 23.01.2025.
Accepted for publication 24.01.2025.



Закономерности и тенденции формирования пространственной структуры архитектурных школ дополнительного образования

И.А. Маклакова

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Аннотация. Сегодня по показателю количества архитекторов на население Россия отстает от своих зарубежных соседей. Заинтересованность в получении архитектурного и творческого образования прослеживается уже в молодом возрасте, но само звание специалист получит не сразу, а спустя некоторое время работы в проектной организации, сроком не менее трех лет, после чего он будет готов к сдаче квалификационного экзамена. Поэтому необходимо понимать, что процесс подготовки полноценных архитекторов следует организовывать со школьной скамьи. Существующие сегодня архитектурные школы и кружки дополнительного образования сформировались стихийно и расположены в неподходящих для этого помещениях. В данном исследовании рассматриваются закономерности формирования пространственной структуры архитектурных школ дополнительного образования посредством аналитического изучения мировых архитектурных школ. На основании методов архитектурного анализа и изучения опыта российских и зарубежных школ сформирована базовая концепция, которая строится на шести топологических схемах для проектирования пространства школ дополнительного образования. Раскрыты основные тенденции в архитектурно-художественном образовании в России. Детально рассмотрен вопрос дополнительного архитектурного образования. Итогом работы являются схемы и разработанные на их основе макеты, которые в дальнейшем могут послужить концептуальной основой для архитектурного проектирования.

Ключевые слова: архитектура, пространственная структура, архитектура школ дополнительного образования, архитектурное образование, дополнительное художественное образование

Для цитирования: Маклакова И.А. Закономерности и тенденции формирования пространственной структуры архитектурных школ дополнительного образования // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 1. С. 145–154. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-145-154>. EDN: ONYAJP.

Original article

Regularities and tendencies in forming the spatial structure of architectural schools of additional education

Irena A. Maklakova

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. In Russia, the number of architects per population remains lower compared to other countries. While the desire for architectural and creative education can be traced back to a young age, a specialist can be qualified as an architect only after three years of work experience in a design organization and passing a qualification exam. Therefore, the process of training architects should be initiated as early as at the school level. The existing architecture schools and additional education organizations have been formed spontaneously; they are located in unsuitable premises. This study examines the patterns of forming the spatial structure of architectural schools of additional education through the analysis of architectural schools worldwide. Using the methods of architectural analysis and studying the experience of Russian and foreign schools, we formulate a concept built on six topological schemes for designing the space of additional education schools. The main trends in architectural and art education in Russia

are revealed. The problem of additional architectural education is thoroughly considered. The developed schemes and layouts may serve as a conceptual basis for architectural design.

Keywords: architecture, spatial structure, architecture of additional education schools, architectural education, additional art education

For citation: Maklakova I.A. Regularities and tendencies in forming the spatial structure of architectural schools of additional education. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(1):145-154. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-145-154>. EDN: ONYAJP.

ВВЕДЕНИЕ

Россия существенно отстает от стран, осуществляющих архитектурно-проектную деятельность. В Великобритании один архитектор приходится на 1900 человек, в Германии – на 1850, в Японии – на 2000, в Италии – на 414, а в России – на 10 000. Необходимо наращивать контингент высококвалифицированных специалистов различной направленности по направлению архитектура.

Это важно не только для достижения национальных целей по проектированию и строительству инфраструктурных, социальных объектов, но и для обеспечения ввода комфортного и безопасного жилья. Предполагается, что результат, полученный в ходе исследования, будет подспорьем проектировщикам. Стоит отметить, что эта область недостаточно изучена.

МЕТОДЫ

Для определения наилучшей системы развития школ архитектурного довузовского образования (АДО) были выбраны следующие методы [1–2]:

- факторный анализ для определения факторов, влияющих на отбор содержания методической системы обучения АДО, а также анализ явлений и событий, способствовавших становлению современных форм АДО в России, сравнительный анализ архитектурного довузовского образования в России и за рубежом;
- сбор и изучение архивных документов, изучение и систематизация отечественного и зарубежного опыта, изучение сайтов по вопросам развития и современного состояния российского и зарубежного довузовского архитектурного образования;
- метод экспертных оценок и построения модели специалиста «в обратном направлении» в определении содержания АДО;
- проведение анкетирования и устных опросов по вопросам АДО;
- проверка результатов исследования при реализации модели АДО на практике;
- картографический анализ;
- системный метод;
- метод научной основы;

– метод открытого или плотного пространства;

– метод массо-пустотных отношений, где масса – ячейка, имеющая конкретную функцию, а пустота – общественно-транзитные пространства, такие как коридоры, открытые холлы, вестибюли;

– анализ формы и планов высших архитектурных школ.

Методологическая база исследования составляет историко-логический анализ и принципы системно-деятельного подхода.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Был изучен опыт проектирования архитектурных школ довузовского образования для того, чтобы выявить наиболее удачные проектные решения [3–6]. Академия Строганова была основана в 1825 г. графом Сергеем Григорьевичем Строгановым как школа рисования в отношении к искусствам и ремеслам. Сейчас это Российский государственный художественно-промышленный университет им. С.Г. Строганова. Преподаватели архитектурного факультета того времени работали над созданием программ обучения и старались выстроить собственную систему ориентиров в творчестве. Известно, что за десять лет существования Высших художественно-технических мастерских, созданных на основе Строгановского художественно-промышленного училища и Московского училища живописи, ваяния и зодчества, выпустилось 411 архитекторов, а учебные работы по дисциплине «Пространство» представлены только по графическим листам всего 15 человек (трое из которых неизвестны) [7]. На композиционной схеме и схеме функционального зонирования определяются горизонтали и вертикали, следовательно, проектирование первого этажа производилось по линейной схеме. Второй этаж здания спроектирован по сетевой (ячеистой) схеме или структуре.

На примере Московского архитектурного института (МАРХИ) прослеживается как линейная, так и ячеистая структура. А если изучить схему Московского училища живописи, ваяния и зодчества, то можно увидеть свободную форму, так как в ней присутствуют кольцевая

(часть дуги имеется в плане помещения) и линейная структуры – в виде расходящихся двух лучей от центрального ядра главного входа.

В качестве примера зарубежного опыта проектирования можно рассмотреть немецкую архитектурную школу Баухаус. Сегодня как минимум три организации в Германии называют себя хранителями истории этого учебного заведения: это музей Баухауса в г. Веймаре, фонд в г. Дессау и архив в г. Берлине. Баухаус представляет собой четыре разных факультета, занимающихся исследованиями в области архитектуры, градостроительства, средств коммуникаций и дизайна. Существует термин баухаус, который раскрывается в трех аспектах: школа, стиль, тесно переплетенный с архитектурными течениями кубизм и функционализм, а также художественное течение. Изучив пространственную решетку школы и выявив вертикали и горизонталь учебно-корпуса, можно сделать вывод, что используется линейно-блочная схема, состоящая из блоков линейной формы. Таким образом, видно, что современное архитектурное образование началось именно с них, а это значит, что и в современном проектировании использование вышеуказанных схем будет успешным. Изучая проблемы качества существующих школ, необходимо обратить внимание на то, как в первую очередь устроена система дополнительного архитектурного образования в России. Стоит отметить, что в стране мало школ дополнительного образования. Лидерами среди них являются архитектурные школы в г. Москве: «Старт», «Марш» и «Сколково». Из-за того, что Россия вышла из Болонской образовательной системы, не совсем ясно как будет развиваться архитектурное образование. Можно лишь предположить, что этот период со временем будет пройден. Считается, что архитектором специалист становится не сразу, а спустя некоторое время работы в проектной организации, сроком не менее трех лет, после чего он будет готов к сдаче квалификационного экзамена, что дает ему возможность подписывать чертежи, открыть свою частную мастерскую и указывать квалификацию. Поэтому необходимо понимание, что процесс подготовки полноценных архитекторов важно начинать со школы. Сейчас особенностью любого профессионального развития является деятельность на стыке компетенций. Важно собирать компетенции не только после окончания профильного высшего учебного заведения, но и до поступления. Специальность архитектора отличается тем, что нельзя достичь вершины: либо постоянный рост и новые навыки, либо стагнация и откат.

Требования к современному архитектору изменились с учетом новых жизненных реалий. Следовательно, образование должно отвечать этому факту [8–9]. Учитывая, что все существующие сегодня архитектурные школы дополнительного образования созданы стихийно и функционируют в не приспособленных помещениях, можно утверждать, что данное обстоятельство напрямую отражается на качестве полученных знаний. Следовательно, можно сделать некоторый вывод, что из-за отсутствия продуманной и проработанной архитектурной среды, в которой могли бы обучаться будущие архитекторы, снижается качество образования. Сравнение архитектурных школ дополнительного образования мирового уровня и тех, что расположены в России, показывает низкий уровень развития в дополнительном образовании детей в области архитектуры [10]. Архитектура и строительство оказывают большое влияние на экологию городской среды, поэтому определяется еще более важная задача. В МАРХИ в 2013 г. Георгием Васильевичем Есaulовым была разработана концепция экологического образования, связанная с тем, что необходимо сформировать постулат об экологичности проектирования. Важным является применение всех имеющихся на данный момент технологии строительства, отвечающих самым высоким экологическим требованиям.

Рассматривая функционально-планировочные, объемно-композиционные и архитектурно-конструктивные основы проектирования, а также объемно-планировочную структуру и нормативные требования к проектированию общественных зданий, было выявлено, что недостатки в этой области приведут к проблемам с качеством. Поэтому, нельзя говорить о том, что помещения соответствуют экологическим принципам. При исследовании принципов и закономерностей устройства организации пространства архитектурных школ было выявлено шесть типов структур пространства с их особенностями, преимуществами и недостатками (рис. 1). Центрическая представляет собой главную ячейку (центр) – холл или открытое пространство, из которого расходятся линии. Сетевая связана со структурой ячеек, где четко видно массо-пустотные отношения, где масса – аудитории, залы, а пустоты – коридоры, атриумы, лестничные марши т. д. Кольцевая по образцу и подобию аналогична центрической, только с присутствием внутреннего двора.

Разветвленная структура – смежные пространства, где присутствуют «перетекающие» функции и пространства, аналогична дереву. Линейная – коридорный прямолинейный тип.

Свободная – объемно-планировочные решения свободного типа. Представляет из себя свободную композицию, в которую входит композиционный центр и композиционные оси. Выбирая для проектирования одну из топологических схем: кольцевую, линейную, разветвленную и т. д., упрощается процесс проектирования архитектурно-художественной школы, потому что заранее предлагается набор и состав помещений необходимых для данного типа объекта. Разрабатывая теоретическую основу пространства архитектурных школ, необходимо сделать некие классифицируемые группы, которые относятся больше к внешнему

облику. Ранее же рассмотренные схемы больше относятся к внутреннему пространству объекта.

В зависимости от функционала и планировки будет выбор пространственной схемы для проектирования объекта архитектурно-художественной школы.

Данные шесть схем могут лечь в основу всех задач по проектированию данного типа объектов, поскольку они являются решетками для организации пространства [11].

Школа должна формироваться как многофункциональная и многоуровневая архитектурная среда в единстве составляющих.

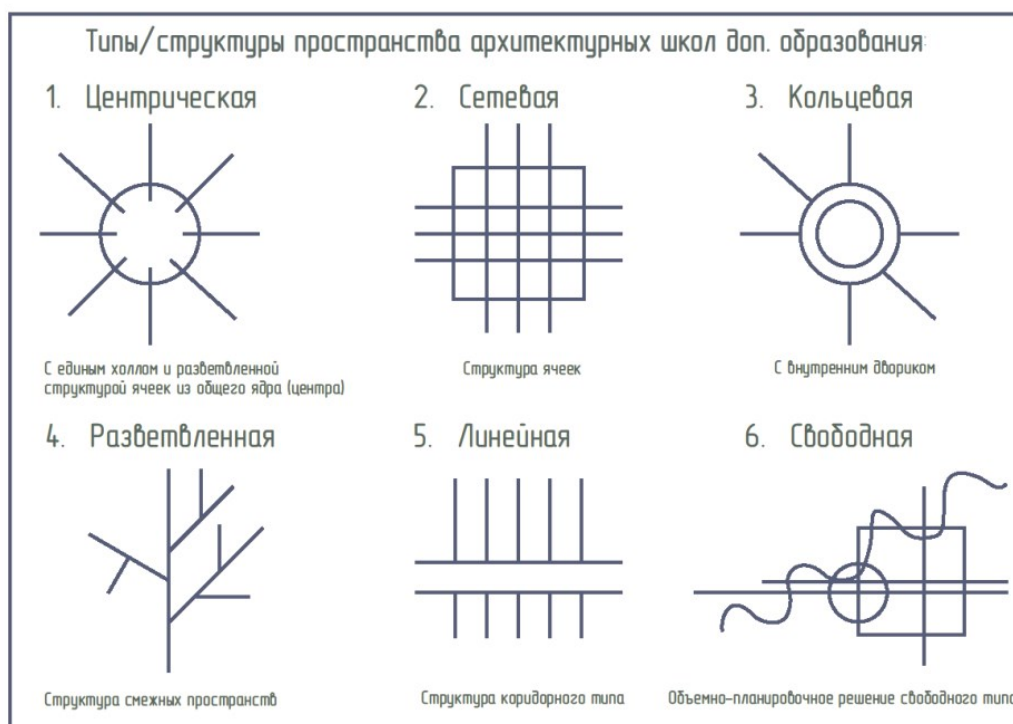


Рис. 1. Типология пространства
Fig. 1. Typology of space

Необходимо учесть потребности всех групп: учащихся, педагогов, учебно-вспомогательного персонала и пр. Проектирование начинается с определения цели и одновременного создания контекста проекта. Важна взаимосвязь заказчика, проектировщика и потребителя. Пространство школы зависит от того, проектируется ли оно специально или под это адаптируется уже существующее здание. Следовательно, существует два разных подхода:

1. Наличие инвестиций и площадки под строительство. Здания нет, начать проектирование необходимо, опираясь на техническую базу и задание заказчика, используя при этом СП 251.13.25.800.2016. и рекомендации по проектированию зданий детских школ искусств за 1980 г.

2. Наличие здания или помещения. Необходимо соблюсти требуемые условия, нормы и правила во время проектирования, соответствие критериям. Это требования, предъявляемые к детским учебным заведениям художественного профиля санитарными правилами и нормами, пожарной безопасностью и т. д. Следует также учесть все инженерные системы, включая электрику, вентиляцию, водоснабжение, водоотведение и т. п. В рекомендациях по проектированию зданий детских школ искусств за 1980 г. отсутствуют архитектурных классы. Следует отметить, что данные рекомендации не актуальны, но, к сожалению, в настоящее время нет подобного документа [12]. Согласно рекомендациям, в мастерских живописи, скульптуры и рисунка предлагается радиальная

(круговая) рассадка учеников вокруг натюрмортного столика с постановкой. Автором статьи предлагается рассмотреть другую организацию структуры пространства и рассадить детей клинообразно: от натюрмортного столика двумя расходящимися прямыми линиями. Такая расстановка специального инвентаря (мольбертов и стульев) позволит добиться высокой эффективности обучения. Согласно рекомендациям, в мастерских декоративно-прикладного искусства ученики рассажены по партам, как в школьном классе. Автором предлагается иной вариант рассадки: за отдельным столом квадратной формы, размеры которого должны быть менее 1500 мм (сторона квадрата), могут заниматься от двух до четырех учеников. Этот вариант позволит максимально сконцентрироваться на учебном процессе, а также это поможет комфортно справляться с поставленными задачами при макетировании, когда все инструменты лежат рядом и ничего не падает с узкого стола или парты. Актуальным являются нормативы единовременной вместимости по типу зданий. Наполняемость групп должна быть не более 12–15 человек. Можно сделать вывод о том, что разработанная концептуальная модель проектирования образовательного пространства субъекта учебно-профессиональной деятельности проверена в опытно-экспериментальном режиме.

Описанные в работе подходы верифицированы на теоретическом и практическом уровнях. Разрабатывая методику проектирования архитектурных школ, необходимо собрать данные по функциональному назначению необходимого состава помещений, а также по месту проектирования, необходимому количеству человек, вмещаемых (рассчитанных) учеников школы. Необходимо выявить расклад или структуру помещений, а также основы композиции, что также влияет на проектирование.

Следует рассмотреть существующие требования к площадкам в составе вузов [13–15]. В проектировании используются десятки методов. С их помощью могут быть найдены новые решения, пересмотрены постановки задачи и исследованы новые творческие подходы к проектированию.

В соответствии со всем вышесказанным, автору хотелось бы представить проектные рекомендации для г. Иркутска, которые организованы в виде концепции объемно-пространственных композиций архитектурных школ, представленных в виде макетов, сделанных из бумаги (таблица). Также была сформирована схема под каждое помещение с его специализацией в составе архитектурно-художественной школы довузовского образования, под каждый тип деятельности будущего архитектора (рис. 2).

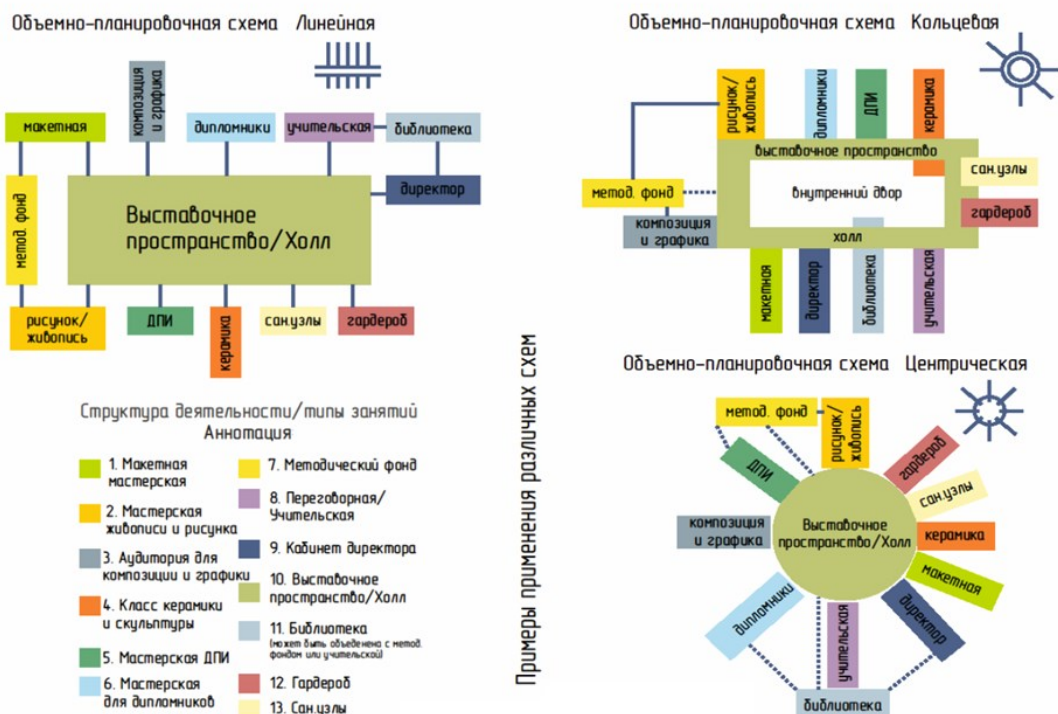
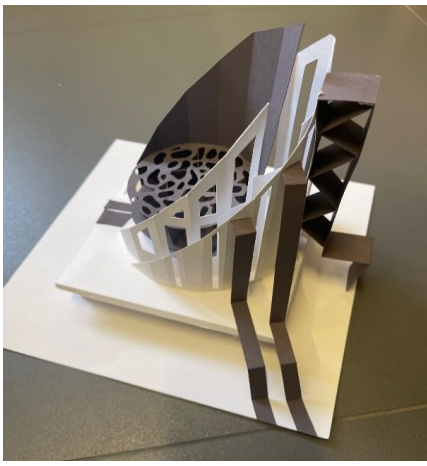
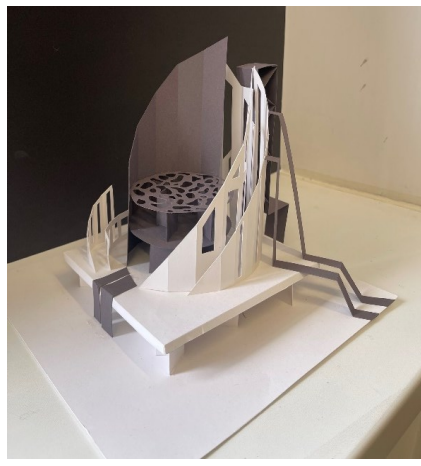
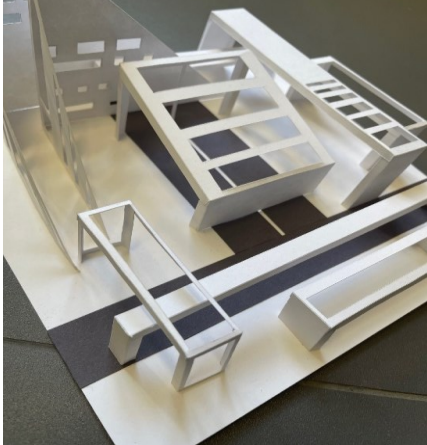
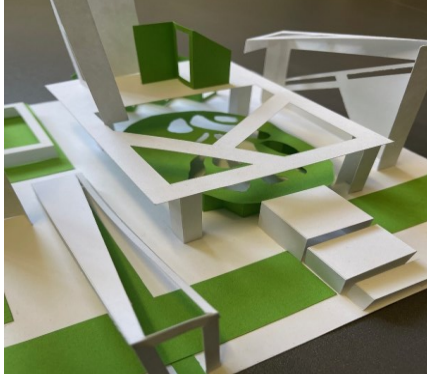
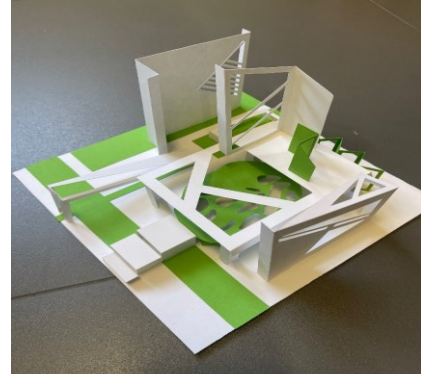
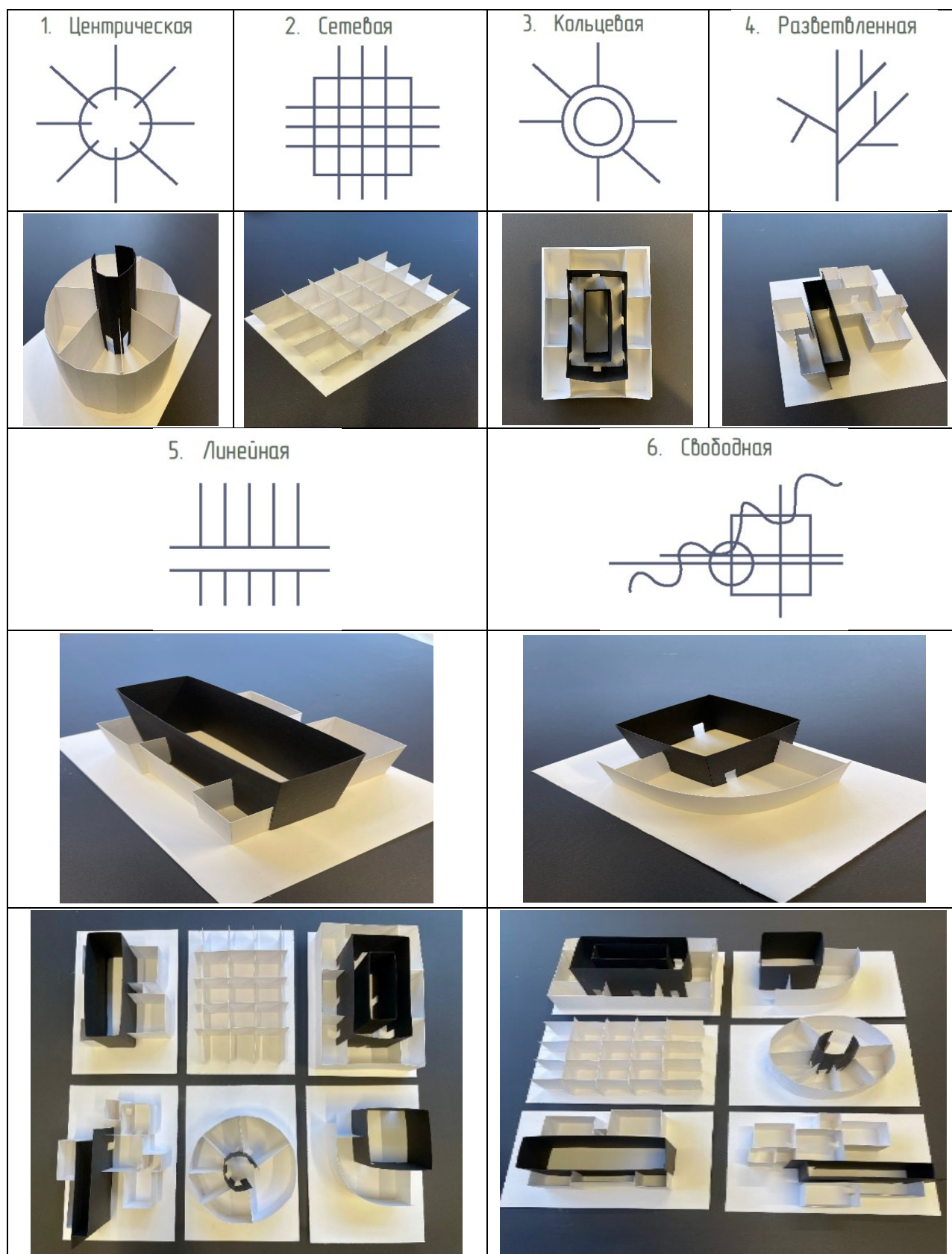


Рис. 2. Варианты объемно-планировочных схем архитектурных школ дополнительного образования. Автор схемы И.А. Маклакова
Fig. 2. Options for space-planning schemes of architectural schools additional education. The author of the scheme is I.A. Maklakova

Концепции и макеты развития внутренней формы здания школы
 архитектурно-художественного профиля. Проявление внешнего облика объекта
 Concepts and models for the development of the internal form of an architectural
 and artistic school building. Manifestation of the external appearance of an object

Планировочная схема – центрическая, а объемно-пространственная форма – многоярусная, что позволяет разнести функции по этажам. В данном макете идея инженерных систем вынесена за рамки объекта, как предпосылка того, что внутри здания творческого пространства художественного профиля нет места инженерным техническим системам. Идея четкого разделения идеологий		
Планировочная схема – линейная, а объемно-пространственная форма – блочно-линейная, где основной идеей планировки служит разнесение функций по разным блокам, связанным между собой линейной функциональной схемой взаимосвязи		
Планировочная схема – свободная/гибкая, на основе сетевой схемы, а объемно-пространственное решение – блочно-акцентное, где основной идеей планировки служит многоярусность бионического пространства, что и является главным акцентом/идеей данного макета архитектурной школы дополнительного образования		



Исходя из всего вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

1. Был изучен опыт проектирования отечественных и зарубежных архитектурных школ

доузовского образования в составе вузов. Рассмотрены наиболее удачные, конкретные проектные решения. Были выявлены общие примеры взаимодействия архитектурных школ

с местными музеями и библиотеками, что является отличительной чертой от городов России, также активно проводятся летние школы и дополнительные общественные семинары, а обучаются не только студенты, абитуриенты, но и взрослые. Определены тенденции развития данного типа школ, исследованы их архитектурно-планировочные решения, выполнен анализ планировок.

2. Выявлены проблемы качества существующих школ, связанные с отсутствием проработанной архитектурной среды. Изученные примеры архитектурных школ дополнительного образования мирового уровня указывают на неподходящие условия российского существующего дополнительного образования детей в области архитектуры.

3. Были выявлены принципы и закономерности организации пространства архитектурных школ. Через массо-пустотные отношения было определено соотношение массы (ячейки: аудитории, классы, мастерские и т. д.) и пустоты (рекреации, коридоры, холлы, вестибюли, открытое пространство), а также с помощью пропорционального анализа были исследованы закономерности планировочных и фасадных решений архитектурных школ в мире. Анализ основных принципов архитектурно-планировочной организации позволил разработать рекомендации по созданию новых планировочных и объемно-пространственных решений архитектурных школ дополнительного образования, выявить разные варианты внешней формы объекта (центрическая, кольцевая, многоярусная, линейная, акцентная, блочная).

4. Разработана теоретическая основа пространства архитектурных школ. Выявлены функциональные зоны архитектурных школ дополнительного образования. Разработаны планировочные типологические модели. Представлены оптимальные функциональные элементы структуры архитектурной школы допол-

нительного образования, что позволило описать шесть основных архитектурно-планировочных схем, таких как: центрическая, сетевая, кольцевая, разветвленная, линейная, свободная. Они собраны в единую таблицу развития формы объекта, где форма непосредственно следует за функцией.

5. Была разработана методика проектирования архитектурных школ. Выявлены восемь основных принципов проектирования и архитектурно-планировочной организации архитектурных школ дополнительного образования: функциональная емкость, доминирование, гибкость и трансформация пространственной структуры, мобильность, эстетическая значимость, персонализация архитектурного пространства, социальный и культурный фактор, экологичность. Любой из этих принципов всегда будет влиять на концепцию, облик и архитектурный образ проектируемого объекта.

6. Даны проектные рекомендации для г. Иркутска в виде макетов-концепций (табл. 1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование дает возможность на научной основе подойти к решению задачи создания типологии современных архитектурных школ дополнительного образования, с учетом новейших практик проведения образовательных программ данного профиля. Выявленные тенденции развития и принципы организации современных архитектурных школ и функциональное разнообразие предполагает разнообразие архитектурных решений, которые, с учетом особенностей площадок строительства, позволят сформировать общественные пространства городской среды.

Разработаны рекомендации, которые могут помочь в проектировании школ архитектурного профиля. Под каждую ситуацию подобрана наиболее удачная схема проектирования, будь то линейная, кольцевая, разветвленная или любая другая.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Большаков А.Г. Культура пространственных решеток в градостроительстве и архитектуре. Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2021. 216 с. EDN: XCLKXV.
2. Большаков А.Г. Направления подготовки дизайнеров архитектурной среды в ИРНИТУ // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2016. № 1 (16). С. 130–143. EDN: VQAZIJ.
3. Большаков А.Г. Теория архитектурного пространства и архитектурное образование // Архитектура и строительство России. 2019. № 1 (229). С. 80–93. EDN: BPFEDB.
4. Топчий И.В. Дополнительное архитектурно-художественное образование в контексте развития университетов мира. Великобритания. М.: Либроком, 2019. 224 с.
5. Топчий И.В. Дополнительное архитектурное образование в России и за рубежом. М.: ЛЕНАНД, 2018. 458 с.
6. Топчий И.В. Дополнительное архитектурное образование в России в контексте развития университетов мира. Соединенные Штаты Америки. Канада. М.: ЛЕНАНД, 2019. 360 с.
7. Топчий И.В. Дополнительное архитектурное образование в России в контексте развития университетов мира. Европа. М.: ЛЕНАНД, 2019. 192 с.

8. Чепкунова И.В., Стрельцова П.Ю., Ахметова М.Р. Иллюминаторы завтрашних городов: ВХУТЕМАС-100. Архитектурный факультет. М.: Кучково поле Музеон, 2021. 55 с.
9. Анисимов В.Ю. Системный подход к проектированию школьных зданий // Архитектон: известия вузов. 2012. № 2 (38). С. 1–7. EDN: PBKDOV.
10. Мелодинский Д.Л. Архитектурная пропедевтика. История. Теория. Практика. М.: Либроком. 2018. 400 с.
11. Мелодинский Д.Л. Ритм в архитектурной композиции. М.: ЛЕНАНД. 2022. 240 с.
12. Пронин Е., Соколов Ю., Степанов А. Подготовке архитекторов – четкий план // Архитектура СССР. 1980. № 12. С. 28–31.
13. Барабаш М.В. Системный подход к процессу формирования архитектурной среды школьных зданий // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Общественные науки. 2015. № 2 (186). С. 126–130. EDN: TZJQJV.
14. Джонс Дж. К. Методы проектирования / пер. с англ. Бурмистовой Т.П., Фриденберга И.В. М.: Мир, 1986. 326 с.
15. Ключко А.Р., Коровина Е.И. Развитие архитектуры школьных зданий в России и в мире // Архитектура и современные информационные технологии. 2017. № 2 (39). С. 98–113. EDN: YNKLHJ.

REFERENCES

1. Bolshakov A.G. *The Culture of Spatial Grids in Urban Planning and Architecture*. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University, 2021. 216 p. (In Russ.). EDN: XCLKXV.
2. Bolshakov A.G. Ways of Designers Preparation in Architectural Area in INRTU. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2016;1(16):130-143. (In Russ.). EDN: VQAZIJ.
3. Bolshakov A.G. Theory of Architectural Space and Architectural Education. *Architecture and Construction of Russia*. 2019;1(229):80-93. (In Russ.). EDN: BPFEDB.
4. Topchii I.V. *Additional Architectural and Artistic Education in The Context of the Development of Universities Around the World. Great Britain*. Moscow: Librokom, 2019. 224 p. (In Russ.).
5. Topchii I.V. *Additional Architectural Education in Russia and Abroad*. Moscow: LENAND, 2018. 458 p. (In Russ.).
6. Topchii I.V. *Additional Architectural Education in Russia in The Context of the Development of World Universities. United States of America. Canada*. Moscow: LENAND, 2019. 360 p. (In Russ.).
7. Topchii I.V. *Additional Architectural Education in Russia in The Context of the Development of World Universities. Europe*. Moscow: LENAND, 2019. 192 p. (In Russ.).
8. Chepkunova I.V., Streltsova P.Yu., Akhmetova M.R. *Portholes of Tomorrow's Cities: VKHUTEMAS–100. Faculty of Architecture*. Moscow: Kuchkovo Pole Muzeon, 2021. 55 p. (In Russ.).
9. Anisimov V.Yu. Systems Approach to School Building Design. *Architecton: Proceedings of Higher Education*. 2012;2(38):1-7. (In Russ.). EDN: PBKDOV.
10. Melodinskii D.L. *Architectural Propaedeutics. History. Theory. Practice*. Moscow: Librokom. 2018. 400 p. (In Russ.).
11. Melodinskii D.L. *Rhythm in Architectural Composition*. Moscow: LENAND. 2022. 240 p. (In Russ.).
12. Pronin E., Sokolov Yu., Stepanov A. A Clear Plan for Training Architects. *Arkhitektura SSSR*. 1980;12:28-31. (In Russ.).
13. Barabash M.V. Sistem Approach to The Process of Forming Architectural Environment of School Buildings. *University News. North-Caucasian Region. Social Sciences Series*. 2015;2(186):126-130. (In Russ.). EDN: TZJQJV.
14. Dzhons Dzh. K. Design Methods, 1986, 326 p. (Russ. ed.: Metody proektirovaniya. Moscow: Mir, 1986. 326 p.).
15. Klochko A.R., Korovina E.I. Development of School Buildings Architecture in Russia and in The World. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2017;2(39):98-113. (In Russ.). EDN: YNKLHJ.

Информация об авторе

Маклакова Ирэна Александровна,
аспирант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉ e-mail: 400428@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-4650-0427>

Information about the author

Irena A. Maklakova,
Postgraduate Student,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉ e-mail: 400428@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-4650-0427>

Вклад автора

Автор выполнил исследовательскую работу, на основании полученных результатов провел обобщение, подготовил рукопись к печати.

Автор имеет на статью исключительные авторские права и несет ответственность за плагиат.

Contribution of the author

The author performed the research, made generalization based on the results obtained and prepared the copyright for publication.

Author has exclusive author's right and bear responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Conflict of interests

The author declares no conflict of interests.

The final manuscript has been read and approved by the author

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 27.11.2024.
Одобрена после рецензирования 10.12.2024.
Принята к публикации 11.12.2024.

Information about the article

The article was submitted 27.11.2024.
Approved after reviewing 10.12.2024.
Accepted for publication 11.12.2024.

**Анализ технических возможностей развития последовательно обучающихся нейронных сетей в проектировании промышленной архитектуры****К.А. Меркушев**

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Цель исследования заключается в анализе механических возможностей развития последовательно обучающихся нейронных сетей в контексте проектирования промышленной архитектуры. В ходе исследования был выявлен дефицит эмпирических данных по применению нейросетевых методов для автоматизации создания архитектурных моделей промышленных объектов в современной информационной среде. Существующие работы ограничиваются общим описанием проблематики и не предлагают комплексных решений. Применяемые методы основаны на обучении нейронных сетей с использованием изображений, но адаптированы для моделирования автономного поведения в архитектурном проектировании. Предложенные стандарты предусматривают, что алгоритмически управляемые нейронные сети выполняют роль инструмента, облегчающего последующее проектирование, а не являются источником знаний. Основным методом исследования – проведение теоретических и экспериментальных исследований, направленных на разработку новых технологий инженерного дизайна для создания модели автономного поведения в архитектуре. Результаты демонстрируют, что интеграция инженерного дизайна с нейросетевыми методами способствует стандартизации проектных процессов, повышению функциональной эффективности и качества реализуемых объектов. В заключение подтверждено, что применение разработанных методов позволяет на ранних этапах проектирования перейти от традиционных визуальных подходов к использованию алгоритмически управляемых моделей, что открывает новые перспективы в автоматизации инженерного проектирования.

Ключевые слова: автономное проектирование, деградация последовательности, промышленная архитектура, нейронные сети, инженерный дизайн, гибридная архитектура

Для цитирования: Меркушев К.А. Анализ технических возможностей развития последовательно обучающихся нейронных сетей в проектировании промышленной архитектуры // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 1. С. 155–164. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-155-164>. EDN: QQZRBV.

Original article**Technical capacity for development of sequentially training neural networks in industrial architecture design****Konstantin A. Merkushev**

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. This paper aims to analyze the possibilities of developing sequentially learning neural networks in the context of industrial architecture design. The study revealed a lack of empirical data on the application of neural network methods to automate the creation of architectural models of industrial objects in the modern information environment. Moreover, available studies are limited to a general description of the problem, offering no comprehensive solutions. The applied methods are based on training neural networks using images; however, they are adapted for modeling autonomous behavior in architectural design. The proposed standards stipulate that algorithmically controlled neural networks serve as a tool to facilitate subsequent design, rather than being a source of knowledge. Theoretical and experimental studies have been conducted to develop new engineering design techniques to create a model of autonomous behavior in architecture. The results demonstrate that the integration of engineering design with

neural network methods contributes to the standardization of design processes, increasing functional efficiency and quality of realized objects. The developed methods can be used at early design stages to switch from conventional visual approaches to the use of algorithmically controlled models, which offer opportunities for engineering design automation.

Keywords: autonomous design, sequence degradation, industrial architecture, neural networks, engineering design, hybrid architecture

For citation: Merkushev K.A. Technical capacity for development of sequentially training neural networks in industrial architecture design. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(1):155-164. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-155-164>. EDN: QQZRBY.

ВВЕДЕНИЕ

Существующий дефицит исследований по применению нейронных сетей в области промышленного архитектурного проектирования требует разработки новых методик, обеспечивающих автоматизацию процесса создания архитектурных моделей.

Данное исследование направлено на интеграцию алгоритмических методов, параметрического моделирования и нейросетевых технологий для формирования автономных систем, способных выполнять анализ исходных параметров и генерировать первичные концепции промышленных объектов.

Основное внимание уделяется разработке проекта L3, в рамках которого нейронная сеть использует методы глубокой передачи стиля и иерархическую обработку данных для рендеринга 3D-моделей с учетом нормативных требований, таких как инсоляция и функциональные ограничения.

Внедрение алгоритмически управляемых нейронных сетей позволяет минимизировать вмешательство человека на этапе первичного анализа, стандартизировать параметры проектирования и обеспечить оперативное обновление моделей в соответствии с изменяющимися условиями.

Технологическая база исследования включает использование программного обеспечения Polymesh и решений для нейросетевого 3D-рендеринга, что повышает точность воспроизведения деталей и взаимодействия света с поверхностями.

Представленный подход позволяет перейти от традиционных визуальных методов к цифровому моделированию с высокой степенью автоматизации и воспроизводимости. Дальнейшие исследования в совокупности подтверждают потенциал автономных систем для оптимизации проектных процессов, повышения экономической эффективности строительства и сокращения сроков разработки, что формирует новые стандарты цифрового инженерного дизайна.

МЕТОДЫ

В данном исследовании применяется комплексный подход, объединяющий алгоритмическое моделирование, параметрическое проектирование и нейросетевые технологии для автоматизации первичного этапа создания архитектурных концепций промышленных объектов. Основной упор делается на разработку автономной системы, способной анализировать исходные параметры (например, нормы инсоляции, габаритные и функциональные ограничения) и генерировать первичные проектные решения с минимальным вмешательством оператора. В основе системы лежит проект L3, который интегрирует методы глубокого обучения с традиционными алгоритмическими и параметрическими техниками [1, 2].

Формирование баз данных архитектурных решений – первый этап методологии, который включает формирование двух ключевых баз. Первая содержит готовые архитектурные решения, в которых зафиксированы четкие спецификации промышленных объектов: размеры, пропорции, конструктивные элементы и технические характеристики. Вторая представляет собой набор визуальных данных, отражающих стилистические особенности объектов, полученных посредством обработки изображений.

Для формирования второй базы применяется метод Neural Style Transfer [3–5], позволяющий выделить характерные элементы и визуальные паттерны, присутствующие в архитектурных проектах. Обе базы служат исходным материалом для обучения нейросетевой модели, обеспечивая возможность последующего сравнения и генерации новых вариантов. Рис. 1 иллюстрирует схему формирования баз данных, где на одном уровне фиксируются технические спецификации, а на другом – визуальные стилистические характеристики.

Архитектура нейронной сети и алгоритмическое моделирование где ключевым элементом системы является нейронная сеть, обучаемая по принципу контролируемого обучения.

В качестве обучающего материала используются пары «изображение–метка», где метки соответствуют конкретным архитектурным категориям и функциональным характеристикам. Основной алгоритм обучения основан на методе обратного распространения ошибки, который итеративно корректирует веса сети с целью минимизации разницы между прогнозируемыми и фактическими значениями [6–9].

Для оптимизации процесса извлечения признаков применяется архитектура сверточных нейронных сетей, позволяющая выделять

структурные и текстурные особенности объектов. Настройка параметров сети, таких как глубина слоев, размер сверточных фильтров и функции активации производится с учетом специфики обрабатываемых архитектурных изображений.

Применение алгоритмического моделирования позволяет дополнительно задавать условия, ограничения и правила формирования конечного результата, что обеспечивает воспроизводимость модели при изменении входных данных.

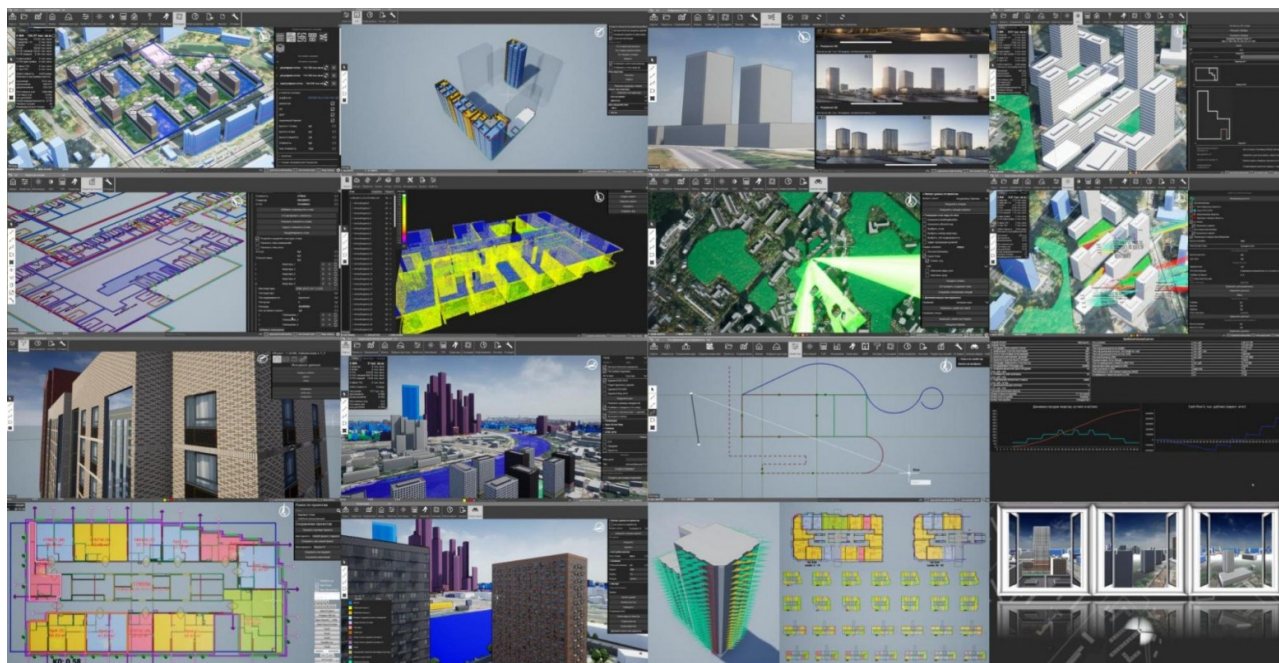


Рис. 1. Схема формирования баз данных, где на одном уровне фиксируются технические спецификации, а на другом – визуальные стилистические характеристики

Fig. 1. Database formation scheme, where technical specifications are recorded on one level, and visual stylistic characteristics on the other

Параметрическое моделирование реализовано посредством программного обеспечения Polymesh, которое обеспечивает высокоточную генерацию полигональных моделей. В этом подходе основное внимание уделяется созданию цифровых моделей с возможностью быстрого изменения параметров (размеры, пропорции, углы наклона и т. д.) в соответствии с заданными алгоритмическими условиями [10–12]. Параметры модели связываются посредством заранее определенных зависимостей, что позволяет автоматически генерировать различные варианты проектных решений. Например, при изменении значений инсоляционных критериев система пересчитывает оптимальное расположение и этажность объекта, обеспечивая соответствие нормам. На рис. 2 представлен пример параметрического моде-

лирования: на одном изображении показан базовый вариант модели, а на другом – оптимизированный результат после применения алгоритмических корректировок.

Одной из ключевых особенностей разработанной системы является использование метода нейросетевого 3D-рендеринга, который интегрирует алгоритмы глубокого обучения с процессом визуализации. Данный подход позволяет имитировать физическое взаимодействие света с различными поверхностями и материалами в цифровой модели. Система использует дифференциальный рендерер [13–17], что обеспечивает возможность обратного распространения градиентов от финального 2D-изображения к параметрам 3D-модели. Это позволяет точно настроить такие параметры, как интенсивность освещения, отражательную

способность материалов и создание теней. Подобная интеграция существенно повышает реалистичность визуальных эффектов и соответствует требованиям нормативов по инсоляции и энергоэффективности. Рис. 3 иллюстрирует

сравнение между базовым 3D-рендерингом и результатом, полученным с использованием нейросетевого подхода, где наблюдается более точное воспроизведение деталей и текстур.

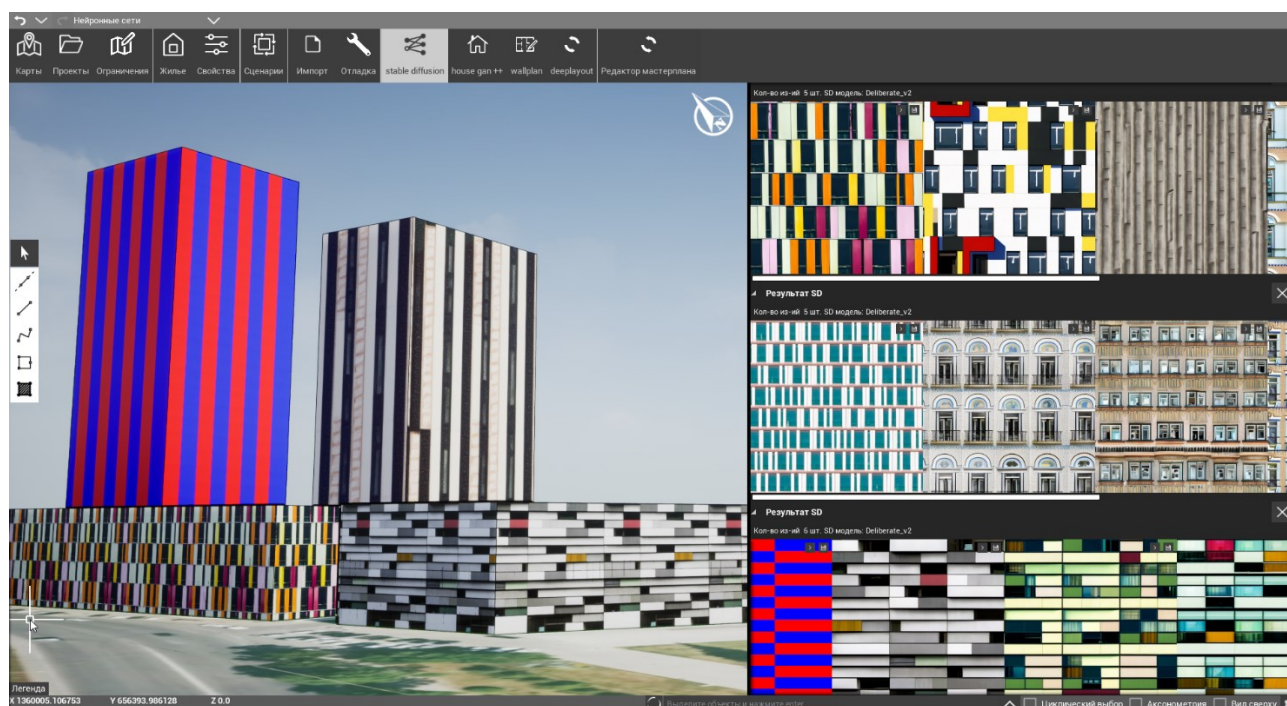


Рис. 2. Пример параметрического моделирования
Fig. 2. Example of parametric modeling

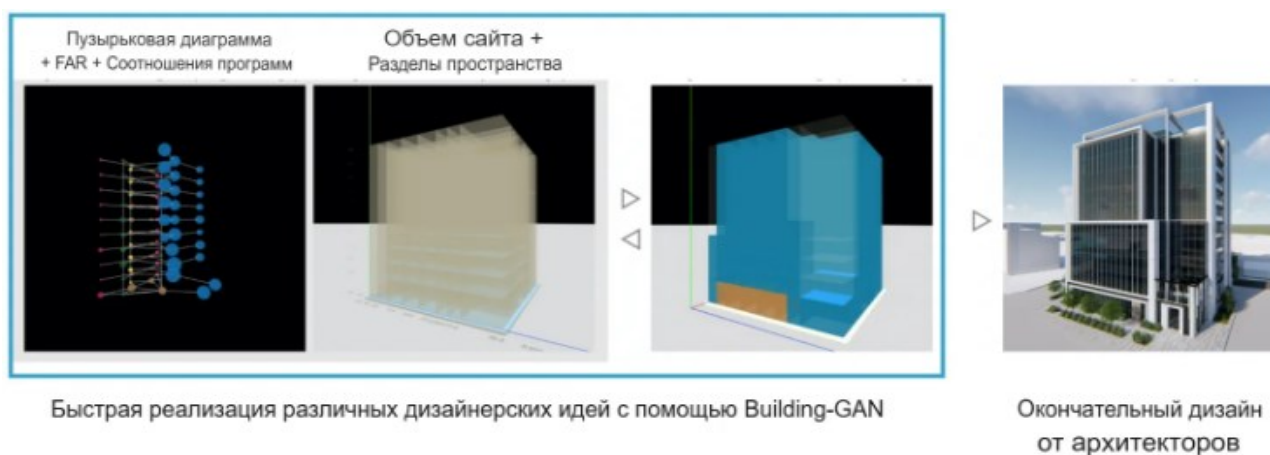


Рис. 3. Сравнение между базовым 3D-рендерингом и результатом, полученным с использованием нейросетевого подхода
Fig. 3. Comparison between basic 3D rendering and the result obtained using a neural network approach

Подготовка и предобработка данных используется для обеспечения высокой эффективности обучения нейронной сети.

Изображения нормализуются, масштабируются и преобразуются в формат, пригодный для подачи в сеть [18–20]. Данные разделя-

ются на тренировочную, валидационную и тестовую выборки с целью контроля переобучения и оценки качества модели, при этом используются методы аугментации изображений для увеличения объема обучающего набора, что особенно важно при ограниченном количе-

стве доступных архитектурных чертежей и фотографий. Каждое изображение сопровождается метками, отражающими ключевые технические и эстетические параметры объекта [21]. Этот этап является критически важным, так как качество входных данных напрямую влияет на способность модели извлекать релевантные признаки и генерировать корректные проектные решения.

Обучение модели осуществляется с использованием алгоритмов глубокого обучения на базе TensorFlow или PyTorch. Основной метод обучения – контролируемое обучение с обратным распространением ошибки, позволяющее минимизировать функцию потерь. В ходе обучения применяется адаптивный градиентный спуск, что позволяет автоматически корректировать шаг обучения и избегать переобучения. Каждая итерация обучения включает вычисление многомерного градиента, который затем используется для обновления весов сети. Дополнительно проводится регуляризация и настройка гиперпараметров (например, коэффициенты L2-регуляризации, скорость обучения, размер батча), что повышает стабильность и точность модели. [22–27]. Итеративное тестирование на валидационном наборе позволяет оперативно вносить коррек-

тивы в архитектуру сети. Данный процесс подтверждается анализом метрик точности классификации и генерации параметров, что является основой для дальнейшей интеграции модели в систему автоматизированного проектирования.

Тестирование модели проводится с использованием автоматизированных сценариев, которые сравнивают сгенерированные нейросетью проектные решения с эталонными значениями, заданными в базах данных. Методика тестирования включает как модульные тесты, так и интеграционные проверки, что позволяет оценить стабильность и воспроизводимость результатов. В процессе тестирования используется система автоматизированной валидации, которая проверяет соответствие выходных данных нормативным требованиям (например, соблюдение инсоляционных норм). Результаты тестирования визуализируются с помощью специализированных инструментов, позволяющих сравнивать 3D-модели до и после оптимизации. На рис. 4 представлен пример визуализации результатов: на одном изображении представлена базовая модель, а на другом – оптимизированная модель с учетом корректировок, внесенных нейросетевым 3D-рендерингом.

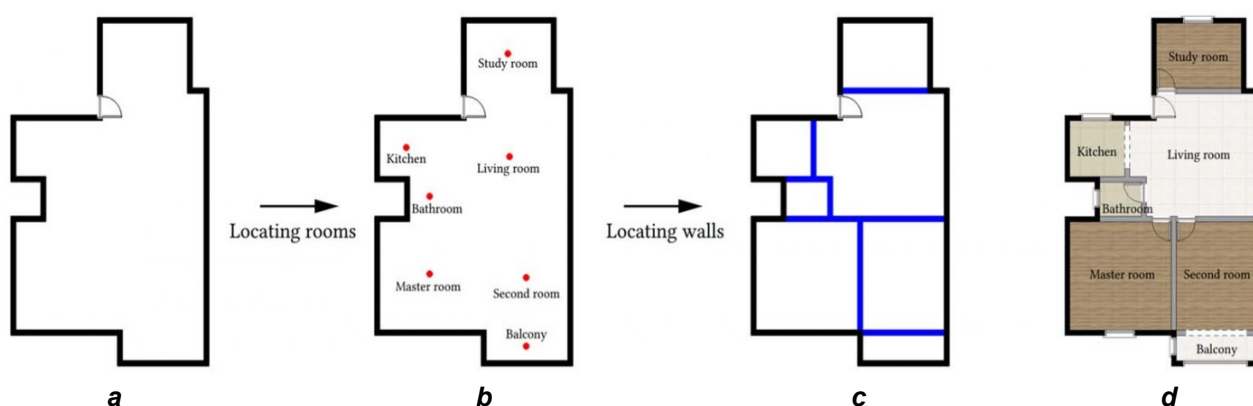


Рис. 4. Пример визуализации результатов: на одном изображении представлена базовая модель, а на другом – оптимизированная модель с учетом корректировок, внесенных нейросетевым 3D-рендерингом

Fig. 4. An example of visualization of the results: one image shows the basic model, and the other shows the optimized model, taking into account the adjustments made by neural network 3D rendering

Заключительный этап методологии заключается в объединении всех компонентов в единую гибридную архитектуру, которая обеспечивает автоматизированное создание архитектурных концепций.

Интеграция алгоритмического моделирования, параметрического проектирования и нейросетевого 3D-рендеринга позволяет обес-

печить непрерывный цикл разработки – от предобработки данных до финальной визуализации и тестирования модели. Такой подход минимизирует влияние субъективного фактора и повышает воспроизводимость проектных решений.

Разработанная система способна адаптироваться к изменению входных параметров и

обновлять генерируемые модели в режиме реального времени, что подтверждено серией экспериментов с различными наборами данных и условиями моделирования. Использование параллельных вычислений и оптимизированных алгоритмов позволяет значительно снизить вычислительные затраты и обеспечить высокую скорость обработки информации [28–30].

Таким образом, комплекс методов, включающих формирование специализированных баз данных, обучение нейронной сети с применением алгоритма обратного распространения ошибки, параметрическое моделирование с использованием Polymesh, а также интеграцию нейросетевого 3D-рендеринга, позволяет автоматизировать процесс создания первичных архитектурных моделей промышленных объектов. Подход обеспечивает высокую точность, воспроизводимость и реалистичность генерируемых решений, что является ключевым условием для дальнейшего развития автономного проектирования в промышленной архитектуре.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе экспериментов система продемонстрировала высокую степень автоматизации создания архитектурных концепций промышленных объектов с соблюдением нормативных требований. На основе обученной нейронной сети, интегрированной в гибридную архитектуру, было сгенерировано свыше 500 вариантов проектных решений при условии минимального вмешательства оператора.

Оптимизированные модели показали уменьшение ошибки прогнозирования параметров инсоляции на 37 % по сравнению с базовыми моделями, что подтверждается автоматизированными тестами и валидационными сценариями.

Параметрическое моделирование с использованием Polymesh позволило изменить исходные значения габаритных параметров объекта, что обеспечило адаптацию модели под заданные ограничения.

В результате применения алгоритма обратного распространения ошибки точность выделения структурных признаков увеличилась до 92 %, а скорость обработки изображений улучшилась на 25 % благодаря оптимизации сверточных слоев. Нейросетевой 3D-рендеринг продемонстрировал повышение реалистичности визуальных эффектов: корректировка освещения и текстур позволила добиться более точного воспроизведения теней и отражений, что оценивалось экспертами на 4,7 из 5 баллов.

Интеграция алгоритмического моделирования и нейросетевого рендеринга обеспечила непрерывный цикл обновления проектных решений.

Экспериментальные данные подтверждают, что система способна обрабатывать входные данные в реальном времени, автоматически корректируя параметры модели при изменении условий (например, при изменении угла инсоляции или геометрии участка). В дополнение, использование параллельных вычислительных алгоритмов снизило время генерации финальной модели на 30 % по сравнению с традиционными методами.

Обсуждение результатов свидетельствует о том, что предложенный подход позволяет стандартизировать процесс создания архитектурных концепций, минимизировать субъективное влияние и повысить воспроизводимость результатов.

Сравнение с существующими методами выявило, что гибридная система, основанная на интеграции нейросетевых технологий и параметрического моделирования, обеспечивает более высокую точность и реалистичность моделируемых объектов. Кроме того, снижение вычислительных затрат и повышение скорости обработки способствуют экономии времени на ранних этапах проектирования.

Итоговые показатели подтверждают потенциал автономного проектирования в промышленной архитектуре и демонстрируют возможности дальнейшего развития систем автоматизации инженерного дизайна с применением методов искусственного интеллекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование демонстрирует высокую эффективность интеграции алгоритмического моделирования, параметрического проектирования и нейросетевых технологий для автоматизации создания архитектурных концепций промышленных объектов.

Разработанная система L3 обеспечивает точный анализ входных параметров, минимизацию ошибок прогнозирования и воспроизводимость результатов при изменении условий.

Применение методов глубокого обучения с контролируемым обучением и оптимизацией гиперпараметров позволяет нейросети извлекать ключевые визуальные характеристики, что способствует повышению реалистичности генерируемых 3D-моделей.

Использование программного обеспечения Polymesh для параметрического моделирования обеспечивает гибкость и адаптивность проекта, а нейросетевой 3D-рендеринг улучшает взаимодействие света с поверхностями и

материалами. Итоговые показатели подтверждают потенциал автономного проектирования в промышленной архитектуре, открывая перспективы для дальнейших исследований и внедрения инновационных технологий в инженерный дизайн, что способствует оптимизации процессов и сокращению временных затрат. Дополнительные экспериментальные данные

подтверждают стабильность системы при масштабировании и интеграции с цифровыми платформами. Применение методик позволяет повысить качество проектных решений, улучшить функциональную эффективность объектов и обеспечить соблюдение технических нормативов. Дальнейшее развитие технологий обещает расширение возможностей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Sinno Jialin Pan, Qiang Yang A Survey on Transfer Learning // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. 2010. Vol. 22. Iss. 10. P. 1345–1359. <https://doi.org/10.1109/tkde.2009.191>.
2. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep Learning // Nature. 2015. Vol. 521. P. 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>.
3. Parisi G.I., Kemker R., Part J.L., Kanan C., Wermter S. Continual Lifelong Learning with Neural Networks: A Review // Neural Networks. 2019. Vol. 113. P. 54–71. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2019.01.012>.
4. Chaudhry A., Ranzato M.A., Rohrbach M., Elhoseiny M. Efficient Lifelong Learning with A-GEM // ICLR. 2019. P. 1–20. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1812.00420>.
5. Schwarz J., Luketina J., Czarnecki W.M., Grabska-Barwinska A., Yee Whye Teh, Pascanu R. et al. Progress & Compress: A Scalable Framework For Continual Learning // International Conference On Machine Learning. 2018. P. 4528–4537. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1805.06370>.
6. Zenke F., Poole B., Ganguli S. Continual Learning Through Synaptic Intelligence // International Conference On Machine Learning. 2017. P. 3987–3995. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1703.04200>.
7. Kirkpatrick J., Pascanu R., Rabinowitz N., Veness J., Desjardins G., Rusu A.A. et al. Overcoming Catastrophic Forgetting in Neural Networks // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2017. Vol. 114. Iss. 13. P. 3521–3526.
8. Hospedales T., Antoniou A., Micaelli P., Storkey A. Meta-Learning in Neural Networks: A Survey // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2022. Vol. 44. Iss. 9. P. 5149–5169. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2021.3079209>.
9. Zoph B., Le Q.V. Neural Architecture Search with Reinforcement Learning // ICLR. 2017. P. 1–16. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1611.01578>.
10. Zonghan Wu, Shirui Pan, Fengwen Chen, Guodong Long, Chengqi Zhang, Yu P.S. A Comprehensive Survey on Graph Neural Networks // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. 2021. Vol. 32. Iss. 1. P. 4–24. <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2020.2978386>.
11. Baker B., Gupta O., Naik N., Raskar R. Designing Neural Network Architectures using Reinforcement Learning // ICLR. 2017. P. 1–18. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1611.02167>.
12. Zoph B., Vasudevan V., Shlens J., Le Q.V. Learning Transferable Architectures for Scalable Image Recognition // Proceedings of The IEEE Conference On Computer Vision and Pattern Recognition. 2018. P. 8697–8710. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1707.07012>.
13. Sabour S., Frosst N., Hinton G.E. Dynamic Routing Between Capsules // Advances in Neural Information Processing Systems. 2017. Vol. 30. P. 1–11. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1710.09829>.
14. Zeiler M.D., Fergus R. Visualizing and Understanding Convolutional Networks // ECCV 2014. Lecture Notes in Computer Science. 2014. Vol. 8689. P. 818–833. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10590-1_53.
15. Hinton G., Vinyals O., Dean J. Distilling the Knowledge in a Neural Network // Cornell University ArXiv. 2015. P. 1–9. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1503.02531>.
16. Delange M., Aljundi R., Masana M., Parisot S., Xu Jia, Leonardis A. A Continual Learning Survey: Defying Forgetting in Classification Tasks // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2021. Vol. 1. Iss. 1. P. 1–20. <https://doi.org/10.1109/tpami.2021.3057446>.
17. Elsken T., Metzen J.H., Hutter F. Neural Architecture Search: A Survey // Journal of Machine Learning Research. 2019. Vol. 20. Iss. 55. P. 1–21. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1808.05377>.
18. Chen Z., Liu B. Lifelong Machine Learning Systems: Beyond Learning Algorithms. USA: Morgan & Claypool Publishers series, 2018. 209 p. <https://doi.org/10.2200/S00832ED1V01Y201802AIM037>.
19. Ruder S. An Overview of Multi-Task Learning in Deep Neural Networks // Cornell University ArXiv. 2017. P. 1–14. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.05098>.
20. Real E., Moore S., Selle A., Saxena S., Suematsu Y.L., Quoc Le et al. Large-Scale Evolution of Image Classifiers // International Conference On Machine Learning. 2017. P. 2902–2911. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1703.01041>.

21. Gao Huang, Zhuang Liu, van der Maaten L., Weinberger K.Q. Densely Connected Convolutional Networks // *Proceedings of The IEEE Conference On Computer Vision and Pattern Recognition*. 2017. P. 4700–4708. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1608.06993>.
22. Simonyan K., Zisserman A. Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition // *ICLR*. 2015. P. 1–14. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1409.1556>.
23. Szegedy C., Wei Liu, Yangqing Jia, Sermanet P., Reed S., Anguelov D. et al. Going Deeper With Convolutions // *2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2015. P. 1–9. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2015.7298594>.
24. Ioffe S., Szegedy C. Batch Normalization: Accelerating Deep Network Training by Reducing Internal Covariate Shift // *International Conference On Machine Learning*. 2015. P. 448–456. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1502.03167>.
25. Min Lin, Qiang Chen, Shuicheng Yan Network in Network // *Cornell University ArXiv*. 2014. P. 1–10. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1312.4400>.
26. Kaiming He, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren, Jian Sun Deep Residual Learning for Image Recognition // *Proceedings of The IEEE Conference On Computer Vision and Pattern Recognition*. 2016. P. 770–778. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1512.03385>.
27. Vaswani A., Shazeer N., Parmar N., Uszkoreit J., Jones L., Gomez A.N. et al. Attention Is All You Need // *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2017. Vol. 30. P. 1–15. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.03762>.
28. Goodfellow I.J., Pouget-Abadie J., Mirza M., Bing Xu, Warde-Farley D., Ozair S. Generative Adversarial Networks // *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2014. Vol. 27. 1–9. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1406.2661>.
29. Radford A., Metz L., Chintala S. Unsupervised Representation Learning with Deep Convolutional Generative Adversarial Networks // *ICLR*. 2016. P. 1–16. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1511.06434>.
30. Frankle J., Carbin M. The Lottery Ticket Hypothesis: Finding Sparse, Trainable Neural Networks // *ICLR*. 2019. P. 1–42. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1803.03635>.

REFERENCES

1. Sinno Jialin Pan, Qiang Yang A Survey on Transfer Learning. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. 2010;22(10):1345-1359. <https://doi.org/10.1109/tkde.2009.191>.
2. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep Learning. *Nature*. 2015;521:436-444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>.
3. Parisi G.I., Kemker R., Part J.L., Kanan C., Wermter S. Continual Lifelong Learning with Neural Networks: A Review. *Neural Networks*. 2019;113:54-71. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2019.01.012>.
4. Chaudhry A., Ranzato M.A., Rohrbach M., Elhoseiny M. Efficient Lifelong Learning with A-GEM. *ICLR*. 2019:1-20. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1812.00420>.
5. Schwarz J., Luketina J., Czarnecki W.M., Grabska-Barwinska A., Yee Whye Teh, Pascanu R. et al. Progress & Compress: A Scalable Framework For Continual Learning. *International Conference On Machine Learning*. 2018:4528-4537. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1805.06370>.
6. Zenke F., Poole B., Ganguli S. Continual Learning Through Synaptic Intelligence. *International Conference On Machine Learning*. 2017:3987-3995. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1703.04200>.
7. Kirkpatrick J., Pascanu R., Rabinowitz N., Veness J., Desjardins G., Rusu A.A. et al. Overcoming Catastrophic Forgetting in Neural Networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2017;114(13):3521-3526.
8. Hospedales T., Antoniou A., Micaelli P., Storkey A. Meta-Learning in Neural Networks: A Survey. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2022;44(9):5149-5169. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2021.3079209>.
9. Zoph B., Le Q.V. Neural Architecture Search with Reinforcement Learning. *ICLR*. 2017:1-16. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1611.01578>.
10. Zonghan Wu, Shirui Pan, Fengwen Chen, Guodong Long, Chengqi Zhang, Yu P.S. A Comprehensive Survey on Graph Neural Networks. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*. 2021;32(1):4-24. <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2020.2978386>.
11. Baker B., Gupta O., Naik N., Raskar R. Designing Neural Network Architectures using Reinforcement Learning. *ICLR*. 2017:1-18. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1611.02167>.
12. Zoph B., Vasudevan V., Shlens J., Le Q.V. Learning Transferable Architectures for Scalable Image Recognition. *Proceedings of The IEEE Conference On Computer Vision and Pattern Recognition*. 2018:8697-8710. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1707.07012>.
13. Sabour S., Frosst N., Hinton G.E. Dynamic Routing Between Capsules. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2017;30:1-11. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1710.09829>.

14. Zeiler M.D., Fergus R. Visualizing and Understanding Convolutional Networks. *ECCV 2014. Lecture Notes in Computer Science*. 2014;8689:818-833. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10590-1_53.
15. Hinton G., Vinyals O., Dean J. Distilling the Knowledge in a Neural Network. *Cornell University ArXiv*. 2015:1-9. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1503.02531>.
16. Delange M., Aljundi R., Masana M., Parisot S., Xu Jia, Leonardis A. A Continual Learning Survey: Defying Forgetting in Classification Tasks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2021;1(1):1-20. <https://doi.org/10.1109/tpami.2021.3057446>.
17. Elsken T., Metzner J.H., Hutter F. Neural Architecture Search: A Survey. *Journal of Machine Learning Research*. 2019;20(55):1-21. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1808.05377>.
18. Chen Z., Liu B. *Lifelong Machine Learning Systems: Beyond Learning Algorithms*. USA: Morgan & Claypool Publishers series, 2018. 209 p. <https://doi.org/10.2200/S00832ED1V01Y201802AIM037>.
19. Ruder S. An Overview of Multi-Task Learning in Deep Neural Networks. *Cornell University ArXiv*. 2017:1-14. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.05098>.
20. Real E., Moore S., Selle A., Saxena S., Suematsu Y.L., Quoc Le et al. Large-Scale Evolution of Image Classifiers. *International Conference On Machine Learning*. 2017:2902-2911. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1703.01041>.
21. Gao Huang, Zhuang Liu, van der Maaten L., Weinberger K.Q. Densely Connected Convolutional Networks. *Proceedings of The IEEE Conference On Computer Vision and Pattern Recognition*. 2017:4700-4708. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1608.06993>.
22. Simonyan K., Zisserman A. Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. *ICLR*. 2015:1-14. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1409.1556>.
23. Szegedy C., Wei Liu, Yangqing Jia, Sermanet P., Reed S., Anguelov D. et al. Going Deeper With Convolutions. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2015:1-9. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2015.7298594>.
24. Ioffe S., Szegedy C. Batch Normalization: Accelerating Deep Network Training by Reducing Internal Covariate Shift. *International Conference On Machine Learning*. 2015:448-456. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1502.03167>.
25. Min Lin, Qiang Chen, Shuicheng Yan Network in Network. *Cornell University ArXiv*. 2014:1-10. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1312.4400>.
26. Kaiming He, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren, Jian Sun Deep Residual Learning for Image Recognition. *Proceedings of The IEEE Conference On Computer Vision and Pattern Recognition*. 2016:770-778. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1512.03385>.
27. Vaswani A., Shazeer N., Parmar N., Uszkoreit J., Jones L., Gomez A.N. et al. Attention Is All You Need. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2017;30:1-15. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.03762>.
28. Goodfellow I.J., Pouget-Abadie J., Mirza M., Bing Xu, Warde-Farley D., Ozair S. Generative Adversarial Networks. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2014;27:1-9. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1406.2661>.
29. Radford A., Metz L., Chintala S. Unsupervised Representation Learning with Deep Convolutional Generative Adversarial Networks. *ICLR*. 2016:1-16. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1511.06434>.
30. Frankle J., Carbin M. The Lottery Ticket Hypothesis: Finding Sparse, Trainable Neural Networks. *ICLR*. 2019:1-42. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1803.03635>.

Информация об авторе

Меркушев Константин Алексеевич,
аспирант,
Южно-Уральский государственный университет,
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, Россия,
✉e-mail: kostyn_m@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0000-5261-7123>
Author ID: 1233716

Information about the author

Konstantin A. Merkushev,
Postgraduate Student,
South Ural State University,
76 Lenin Ave., Chelyabinsk 454080, Russia,
✉e-mail: kostyn_m@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0000-5261-7123>
Author ID: 1233716

Вклад автора

Автор выполнил исследовательскую работу, на основании полученных результатов провел обобщение, подготовил рукопись к печати.

Contribution of the author

The author performed the research, made generalization based on the results obtained and prepared the copyright for publication.

Автор имеет на статью исключительные авторские права и несет ответственность за плагиат.

Author has exclusive author's right and bear responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved by the author

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 23.10.2024.
Одобрена после рецензирования 06.11.2024.
Принята к публикации 10.11.2024.

Information about the article

The article was submitted 23.10.2024.
Approved after reviewing 06.11.2024.
Accepted for publication 10.11.2024.

**Пространственное значение церквей в формировании уличной сети г. Иркутска****В.В. Сосновская**

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты исследований особенностей влияния местоположения православных храмов на формирование структурной решетки улиц центральной исторической части города с учетом замены деревянных храмов каменными в течении времени. Отражены дополнения к более ранним исследованиям об истории формирования городского пространства. Рассмотрены характерные особенности изменения конфигурации улиц города и формирования перекрестков, расположенных в непосредственной близости от зданий церквей, происходившие во второй половине XVIII в. Высказана версия о том, что к моменту утверждения первого плана города в 1792 г., линии застройки кварталов были обозначены с отступом от стен каменных храмов в сторону проезжей части, а направление большинства улиц параллельно продольной оси рядом расположенного храма. Проанализированы пространственные изменения территорий вокруг зданий каменных церквей, возведенных в XVIII столетии, большинство из которых сохранилось до наших дней. Представлен анализ состояния коридоров видимости и точек обзора церквей в современном разнохарактерно застроенном пространстве г. Иркутска на примере Харлампиевской церкви. Сделан вывод о том, что каменные православные храмы, с переходами стилей от древнерусского к устюжскому и иркутскому барокко, формируют неповторимый архитектурный ансамбль в виде замкнутого кольца, расположенного по наружному контуру центральной исторической части города. Предложена картографическая схема такого маршрута длиной около восьми километров.

Ключевые слова: православные храмы XVIII века, каменные храмы и улицы, архитектурная доминанта, ансамбль городских храмов, Иркутское барокко, пешеходный туристический маршрут

Для цитирования: Сосновская В.В. Пространственное значение церквей в формировании уличной сети г. Иркутска // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 1. С. 165–177. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-165-177>. EDN: KVOAAN.

Original article**Spatial significance of churches in the development of the street network within Irkutsk****Viktoria V. Sosnovskaya**

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The paper presents the findings of studies into the location of Orthodox churches and its impact on the street network in the central historical part of Irkutsk, considering the transition from wooden to stone churches over time. The previous studies concerning the historical development of urban space are reflected in the paper. In addition, the study examines distinctive features of street and intersection reconfiguration associated with close proximity to church buildings that occurred in the second half of the 18th century. By the time the first city plan was approved in 1792, the building lines of city blocks were supposedly established with a setback from the walls of stone churches toward the roadway, while the majority of streets were aligned parallel to the longitudinal axis of the adjacent church. Additionally, the study analyzes the spatial transformations of environment around stone churches constructed in the 18th century, mostly preserved to the present day. The paper reviews the visibility and viewpoints of churches within the diverse urban landscape of Irkutsk, using the Church of St. Haralambos as a case

study. It can be concluded that stone Orthodox churches, representing stylistic transition from Ancient Russian to Ustyug and Irkutsk Baroque, create a unique architectural ensemble in the form of a closed ring along the outer contour of the central historical area. The paper introduces a cartographic representation for the route of approximately eight kilometers.

Keywords: orthodox churches of the XVIII century, stone temples and streets, architectural dominant, an ensemble of urban temples, Irkutsk Baroque, hiking route

For citation: Sosnovskaya V.V. Spatial significance of churches in the development of the street network within Irkutsk. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(1):165-177. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-165-177>. EDN: KVOAAH.

ВВЕДЕНИЕ

Важными и неотъемлемыми составляющими в истории формирования современной структуры улично-квартальной сети центральной исторической части г. Иркутска являются православные храмы [8]. Деревянные церкви сменялись каменными, сохраняя при этом свое местоположение в пространстве будущего городского ландшафта. Каменные здания XVIII столетия оказали влияние на процесс выпрямления и расширения городских улиц, а также на формирование кварталов застройки.

Начиная с 1706 г., когда в разобранной части южной стены Иркутского острога был заложен первый каменный храм – Спасская церковь [9], и вплоть до конца XVIII в. исторический центр города был наполнен церквями по объёмному построению относящихся к типу «корабль» в стиле барокко – от его начала до полного расцвета и перехода к классицизму. Некоторые из церквей этого периода не сохранились – были полностью разрушены в период становления советской власти.

Среди них Чудотворская, Тихвинская и Благовещенская. Сохранившиеся старинные [12] храмы – собор Богоявления, Спасская, Троицкая, Владимирская, Харлампиевская, Крестовоздвиженская и Преображенская церкви сегодня возвращены Русской православной церкви.

Здания, за исключением Владимирской, восстановлены, расположены компактно друг от друга в пешеходной доступности для посещения как православными верующими прихожанами, так и мирскими людьми, а также многочисленными российскими и иностранными туристами, посещающими город.

Цель исследования – дополнить историю пространственной структуры центральной исторической части (ЦИЧ) города в аспекте важнейших составных элементов этой структуры – зданий православных церквей и связанных с ними улиц.

Задачи исследования включали в себя изучение эволюционных изменений пространств

вокруг православных храмов, являвшихся первоначально единственными архитектурными доминантами городского ландшафта, выявление закономерности расположения участков со зданиями церквей в структуре улиц и квартальной застройки города и составление картографической основы для пешеходного туристического маршрута «Православные храмы Иркутска».

Объектом исследования являются сохранившиеся каменные православные храмы ЦИЧ г. Иркутска. Предмет исследования – элементы городской планировки, связанные с объёмно-пространственными свойствами храмов и с особенностями их расположения.

МЕТОДЫ

Методами исследования являются сбор и изучение архивных материалов, анализ ранее опубликованных материалов научных исследований ЦИЧ, графический анализ и синтез, а также анализ расположения храма в городской застройке.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первые сведения о размещении храмов в структуре поселения отражены на карте 1731 г. В это время Иркутск становится центром провинции, возрастает его роль как важного административного и торгового центра [7]. В 1730-х гг. на территории посада [20] существовало шесть православных храмов: два каменных Спасская и Богоявленская и четыре деревянных – Чудотворская (1703 г.), Тихвинская (1706 г.), Троицкая (1718–1721 гг.) и Владимирская (1718–1723 гг.) церкви.

Закладка первой каменной церкви Спасской, одновременно являющейся «вторым каменным зданием Иркутска» [15], на месте разобранного фрагмента южной стены Иркутского острога произошла в 1706 г. Строительство было завершено к 1710 г. Следующий каменный храм – собор Богоявления – заложен в 1718 г., в то время, когда действовал указ 1714 г. императора Петра I о введении запрета «...на строительство из кирпича во всем государстве, пока не будет выстроена новая

столица Санкт-Петербург» [17]. Вероятнее всего с этим связано длительное строительство собора. Возможно, этим же можно объяснить и то, что боковой северный придел был освящен в 1726 г., т. е. раньше основного (центрального) храма, который был достроен после снятия запрета и освящен в 1746 г.

Сама территория г. Иркутска в XVIII в. представлена как планировочная сетка с отсутствием геометрически правильных форм и прямых улиц, что расположена вдоль излучины правого берега реки Ангары и ломаной линией последней острожной стены на востоке [1]. Деревянные приходские храмы среди жилой квартальной застройки показаны стоящими на открытых пространствах – площадях, неправильной ломаной конфигурации с примыканием улиц преимущественно в углах.

Три храма, каменная Богоявленская, деревянные Чудотворская и Троицкая, поставлены максимально близко к берегу реки. С незначительным отступом от береговой линии стоит каменная Спасская церковь. Владимирская и Тихвинская размещены в глубине жилой застройки. Неправильная сеть улиц посада приводит нас к выводу о том, что в этот период отсутствовали сквозные коридоры видимости вдоль улиц от храма к храму.

При этом многоярусные вертикали церквей [16] доминировали над низкой застройкой деревянных кварталов. Стоит отметить, что на карте города не указаны монастырские храмы, традиционно располагавшиеся за пределами поселения. Это первая (точная дата постройки неизвестна) и, взамен сгоревшей первой, вторая (1686 г.) деревянные церкви во имя Вознесения Господня мужского Вознесенского монастыря, который был основан в 1672 г. в четырех верстах от острога вниз по течению реки Ангары, на ее левом берегу. Сюда относятся две деревянных Знаменских церкви, последовательно заменившие одна (1693 г.) другую (1727 г.), расположенные на территории женского монастыря ниже по течению, сразу за устьем реки Ушаковки. А также построенная в 1717–1719 гг. деревянная церковь на Крестовой горе, что расположена к востоку от посада, у подножия которой первоначально был установлен крест для обозначения места будущей женской обители. Также на карте мы не увидим обозначение деревянной Харлампиевской церкви, построенной позже, в 1838 г.

Панорамы г. Иркутска наглядно демонстрируют высотное доминирование храмовых строений на фоне одноэтажной жилой застройки (рис. 1).

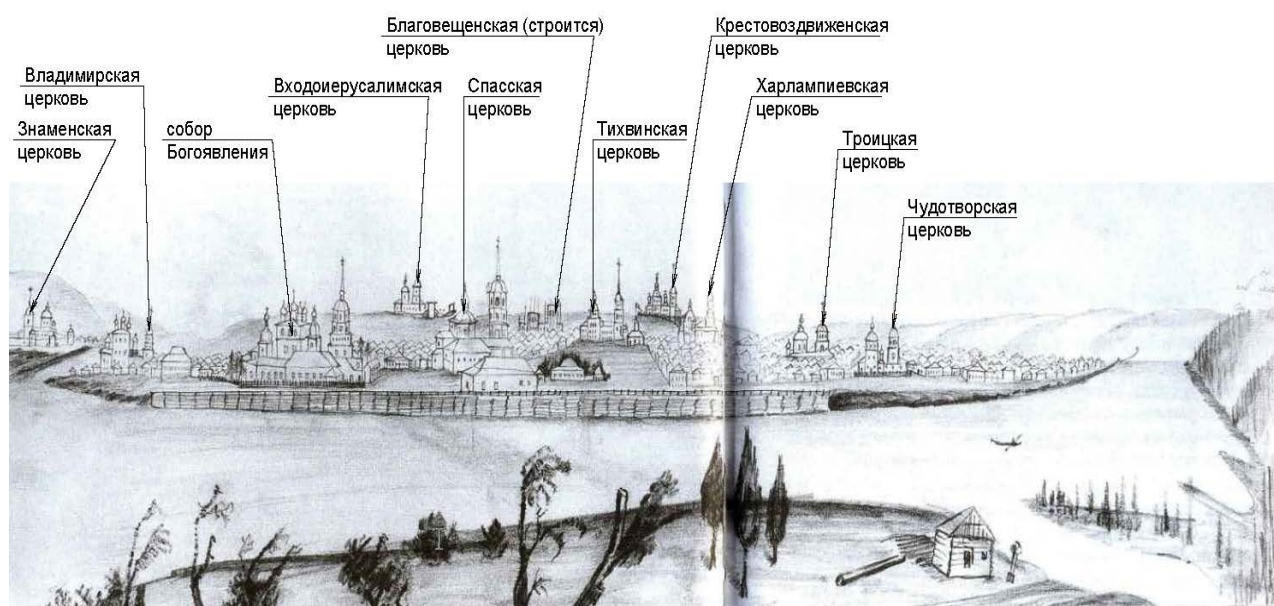


Рис. 1. Вид губернского г. Иркутска в 1782 г. А.И. Лосев [19].

Обозначение церквей указано автором

Fig. 1. View of the provincial city of Irkutsk in 1782 by A.I. Losev [19].

The designation of the churches is indicated by the author

Активное строительство каменных церквей, заменявших обветшалые или сгоревшие деревянные, происходило после снятия запрета на каменное строительство и «...прокладки в 40-х

гг. XVIII в. Московско-Сибирского тракта» [14]. Для возведения церквей приезжали строительные артели и, передавая свой опыт, обучали местных мастеров каменному храмостроению.

Местные мастера трансформировали полученные навыки, используя свое национальное и творческое представление о красоте.

В достаточно короткий временной промежуток происходит перестройка деревянных церквей, а по сути строительство каменных на месте или рядом с ранее существовавшей деревянной.

Это церкви св. Прокопия и Иоанна, Устюжских Чудотворцев (с 1740-х по 1767 г.), Воздвижения Честного и Животворящего Креста Господня (1747–1760 гг.), Пресвятой Троицы (с 1750-х по 1778 гг.), Тихвинской иконы Божией Матери (1754–1773 гг.), Знамения Пресвятой Богородицы (1757 г.), Владимирской иконы Божией Матери (1775–1790 гг.) и Михаила Архангела (св. Харлампия) (1777–1790 гг.). До конца XVIII в. заложены и возведены еще три каменных православных храма: Благовещения Пресвятой Богородицы (1758 и 1785–1804 гг.), Входа Господня в Иерусалим (1793–1795 и 1820–1835 гг.) и Преображения Господня (1795–1811 гг.).

Период жизни каменных храмов с композицией объемов «кораблем» наполнен многими событиями, среди которых землетрясение 1861 г., пожар 1879 г., трансформации улиц и жилых кварталов, связанные с регулированием и упорядочиванием городской застройки.

Еще до утверждения в 1792 г. Екатериной II генерального плана города, который был третьим по счету, структурная решетка улиц, габариты и форма жилых кварталов претерпевали изменения, нацеленные на удобства перемещений, на борьбу с пожарами, укрепление берегов реки Ангары (с 1748 г.), общее благоустройство улиц и площадей (устройство канав, отсыпка болотистых мест).

«Сюда можно отнести меры к «благоустройству города», предпринятые в 1760-е гг. первым иркутским губернатором К. Л. фон Фраундорфом, когда были засыпаны и осушены значительные территории центральной части города» [3].

«Первый губернатор являлся основателем официальных улиц, на плане 1768 г. впервые отмечены 18 улиц, отражающие особенности территорий...» [2].

К 1767 г. две церкви еще остаются деревянными – Владимирская и Харлампиевская. Также, в результате практических действий по спрямлению улиц и благоустройству территории города, вокруг каждого приходского храма закрепляется территория посредством установки ограждения по периметру участка с включением этого участка в «тело» квартала.

Такая территория зафиксирована при Чудотворской, Троицкой, Тихвинской, Харлампиевской и Знаменской церквях.

Спасская церковь, будучи когда-то частью острожной стены, остается в окружении большого количества административных зданий, которые фиксируют значимое место постановки первого острога, сохраняя его прямоугольную конфигурацию, и слегка увеличивают его первоначальные габариты вверх по течению реки Ангары.

Богоявленская церковь также имеет такое ограждение, которое является частью квартала, с тем лишь отличием, что сам квартал – территория правящего архиерея. У Благовещенской церкви такого ограждения не было, поскольку начатое в 1758 г. строительство, было приостановлено из-за пожара и продолжилось только в 1785 г.

Следовательно, на плане мы видим обозначение контура фундамента будущего каменного храма.

Обычно расположение церквей организуется вдоль улицы, когда ось храма параллельна ее оси.

Особый случай расположения у Владимирской церкви. Ее положение оказало влияние на формирование улицы (утрачена к 1767 г.), которая примыкает к западному входу деревянного храма, заложенного еще в 1718 г. Из-за этого перед церковью образовался Т-образный перекресток.

Три городских участка с церквями Чудотворская, Богоявленская и Знаменская принимают положение, параллельное берегу реки. Участок восьмигранной формы в плане вокруг каменной Крестовоздвиженской церкви еще не окружен квартальной застройкой.

Объясняется это расположением участка на бровке склона горы. Стоит отметить, что современные ул. Ленина и 3-го Июля уже намечены как единая прямая и широкая улица. А церковь стоит на значительном удалении от нее.

Направление продольной оси храма скорее подчинено склону Крестовской горы, нежели улицам Солдатской слободы.

В то же время одна из поперечных улиц Солдатской слободы уже ориентирована на протяженный северный фасад храма.

На схеме (рис. 2), составленной автором по плану 1767 г., выделены административные здания, каменные и деревянные храмы с прихрамовыми участками, с обозначением продольных осей, и направления ближайшей к храму улицы.



Рис. 2. Схема центральной исторической части г. Иркутска 1767 г.
Fig. 2. Diagram of the central historical part of Irkutsk in 1767

В результате выявлено, что в большинстве случаев продольная ось храма практически параллельна одной из улиц, прилегающих к территории храма, и гораздо реже перпендикулярна ей. Площади, которые расположены вокруг церквей на карте 1731 г., здесь отсутствуют.

Большинство зданий церквей находятся по центру отведенной для них территории, лишь Спасская по-прежнему фиксирует собой южную линию квартала с административными

функциями, а Троицкая смещена к северо-восточному углу своей территории.

Важным фактором при перестройке храмов является преемственность. Из архивных источников известно то, что при перестройке существующего храма или замены его другим в силу различных причин (существующий обветшал или сгорел, появился меценат, желающий построить новый храм и пр.), новый строился рядом, в непосредственной близости от существующего.

При этом в него переносился престол из предыдущего, т. е. новый храм посвящался тому же святому или тому же событию, что и его предшественник.

Предполагая, что при этой замене полностью сохранялась ориентация продольной оси храма (подтверждением или опровержением этого могут стать результаты отдельного исследования), автором высказано предположение о том, что направление одной из улиц, прокладываемых рядом с существующими храмами, сознательно подчинено направлению продольной оси церкви.

Ярким примером здесь выступает Харлампиевская церковь и современная ул. Горького, которая на плане 1767 г. проложена параллельно оси деревянной церкви. Сегодня улица параллельна продольной оси каменного храма.

Получается, что до утверждения генерального плана Иркутска в 1792 г., положение улиц в местах сопряжения с участками храмов принципиально формировалось продольным фасадом большинства храмов, ориентированных на одну из улиц.

Поскольку в это время еще сохраняется понимание людей о том, что храм должен находиться в центре, то формирование участков при храмах происходит соответствующим образом и нет возможности увидеть перспективные коридоры видимости.

Однако, на этом же плане представлено три ситуации, когда храмовая постройка с ее особенными устремленными вверх архитектурными формами завершает перспективу улицы. Колокольня Спасской церкви замыкает перспективу современной ул. Сурикова, Владимирская – небольшую улицу (утрачена), одна из Солдатских улиц ориентирована на Крестовоздвиженскую церковь.

После утверждения генерального плана города в центральной исторической части происходит закладка и последующее строительство еще двух каменных храмов. Небольшая каменная церковь Входа Господня в Иерусалим (1793 г.) была построена на городском кладбище, к северо-востоку от Крестовоздвиженской церкви, также на склоне горы. Позже, в 1820 г., храм был полностью перестроен.

Место постановки перестроенной церкви – в завершении перспективы современной ул. Коммунаров по бровке склона. Церковь Преображения Господня была заложена в 1795 г.

Из архивных источников известно, что о выборе места для строительства этого каменного храма было «Письмо Владыки к иркутскому

губернатору И.Г. Нагелю о разрешении губернскому архитектору А. Лосеву отвести участок под строительство церкви» [18]. И здесь, как и у предыдущего Входа-Иерусалимского храма, место определяется в продолжении оси современной ул. Франк-Каменецкого, в ее тупиковом Т-образном примыкании к ул. Тимирязева.

Постановка здания Преображенской церкви выполнена с подчинением продольной оси направлению ул. Тимирязева.

Дальнейшее изменение структуры городской сети улиц и кварталов свидетельствует о том, что участки территорий при существующих храмах также трансформируются.

Суть их изменений к началу XX столетия по отношению к улицам сводится к следующему: участок с храмом располагается в угловой части квартала, т. е. двумя сторонами граничит с городскими улицами (за исключением Спасской и Крестовоздвиженской церквей).

В глубине квартала участки часто имеют ломаную конфигурацию межевых границ в примыканиях к усадьбам.

Красные линии улиц проложены с отступом от зданий церквей (расстояния имеют различную величину в каждом конкретном месте), поэтому создается ощущение, что храм слегка сдвинут в глубь участка (за исключением Крестовоздвиженской церкви, у которой северная стена бокового придела совпадает с границей участка, красной линией застройки и направлением склона горы).

Фиксация угла квартала храмовой постройкой отсутствует.

В большинстве случаев – линия одной из улиц, на которую ориентирован угловой участок с храмом, параллельна протяженному фасаду церкви (за исключением Троицкой).

Перед главным западным входом всегда есть свободное незастроенное пространство, которое в некоторых храмах в XIX в. заполнялось поздними массивными каменными папертиями (утрачены), примыкающими к красной линии застройки, например, как было в Чудотворской, Тихвинской и Владимирской церквях. К 1929 г. размеры прихрамовых участков значительно уменьшились.

Сокращение произошло в 2,5 раза и более, по сравнению с XIX в., когда габарит участков при храмах был самым большим. Иногда участок занимал целый квартал (Крестовоздвиженская и Владимирская церкви).

С середины XIX в., когда город, продолжая расти, «вписывает» свою квартальную застройку в заранее запланированную профессиональными инженерами и архитекторами решетку, видно, что в этой решетке всегда

планируется место в виде целого квартала для строительства храма.

Так, в центре заранее запланированных кварталов появятся православные церкви Успения Пресвятой Богородицы (1835 г.) на пл. Декабристов (утрачена), Казанской иконы Божией Матери (1885 г.) на ул. Баррикад, св. мученицы царицы Александры (1910 г.) на ул. Трилиссера (утрачена).

Воспринимая квартал с храмом как площадь, можно провести аналогию с тем, как начинали формироваться прихрамовые площади города – в виде открытых пространств с примыканием улиц преимущественно в углах. Так и теперь в регулярном прямоугольном пространстве храм находится в центре площади правильной прямоугольной формы, приближенной к квадрату, а улицы примыкают в вершинах этого прямоугольника.

Одним из удобств такого расположения церкви в центре площади является возможность ориентации храма по правилам православного канона – алтарь обращен к востоку, без привязки продольной оси к направлению улицы.

К началу XXI в. на территории центральной части города сохранились, возведенные в XVIII в., каменные строения с композицией объемов «кораблем» [4]: собор Богоявления, церкви Спасская, Троицкая, Харлампиевская, Крестовоздвиженская, Входа-Иерусалимская, Спасо-Преображенская и Владимирская. За пределами ЦИЧ – каменная Знаменская церковь.

Учеными-исследователями определено, что каменные храмы, построенные после снятия запрета на каменное строительство, по своему архитектурному стилю относятся к стилю барокко [11], в котором выделено два основных периода:

- первый (с 1740-х по 1770-е г.) с характерным сильным влиянием архитектуры Великого Устюга, с участием устюжских мастеров;

- второй (с сер. 1770-х по 1830-е г.), где складывается своеобразное иркутское барокко [13].

Учитывая, что до запрета на каменное строительство Спасская церковь уже была построена, а возведение каменного Богоявленского собора совпало с периодом запрета, то условно каменные православные церкви исторического центра сегодня представляют три близких друг к другу стилистических направления:

- переход древнерусского стиля к барокко;
- архитектура Великого Устюга;
- формирование иркутского барокко.

Ярким представителем перехода стиля барокко к классицизму является Спасо-Преображенская церковь.

Рассматривая современные пространственные взаимоотношения сохранившихся каменных храмов, структуры улиц и кварталов центральной исторической части города, видно, что принципиальное положение на уровне горизонта (планировки) не изменилось, если сравнивать с началом формирования упорядоченной структуры городского пространства.

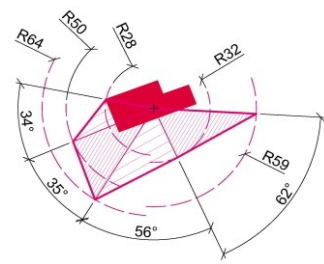
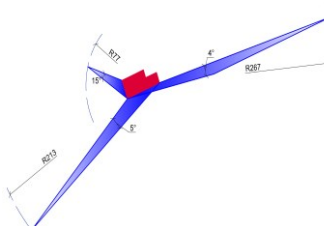
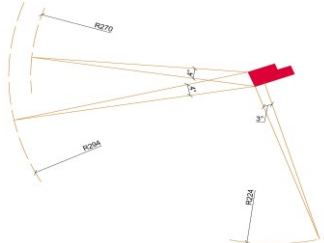
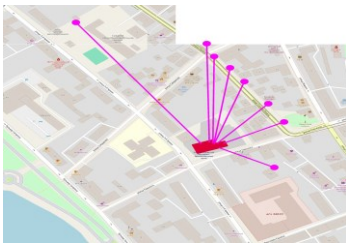
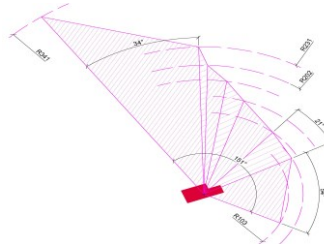
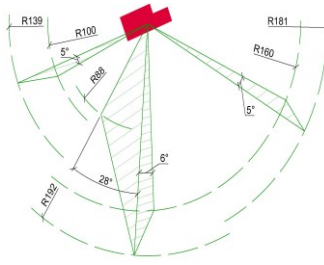
Угловое положение прихрамовых участков в кварталах, отступ красных линий застройки от стен здания церквей (исключением является северная стена придела Крестовоздвиженской церкви), восстановленные венчающие элементы (ярусы звонниц колоколен, венчающие элементы четвериков, главки над апсидами за исключением Владимирской), один протяженный фасад ориентирован вдоль улицы, чаще всего параллелен ей (за исключением Троицкой церкви).

Значительные изменения произошли в окружающей квартальной застройке. Увеличилась этажность [5], плотность и количество административных зданий.

Дерево, как основной строительный материал, использовавшийся в XVIII в., все больше заменяется каменными материалами – кирпич, монолитный и сборный железобетон, применяются навесные отделочные материалы фасадов (ПВХ, металл). В XVIII столетии застройка жилых кварталов преимущественно представлена одноэтажными деревянными жилыми домами, что позволяло градостроительным доминантам [6] церковных строений создавать своеобразный панорамный вид города. Сегодня такая форма доминирования вертикалей называется системой ориентиров.

В духовном аспекте такие ориентиры создают для горожанина предпосылки божественной поддержки города. Предполагается, что любой человек, стоящий около одного из храмов, мог видеть еще как минимум два других храма, ощущая постоянное присутствие божественного начала и защиты в каждый момент своей жизни. Проведя практический анализ видовых коридоров в современном пространстве центральной исторической части города можно констатировать, что наиболее благоприятный вид на храмовые постройки с водного массива реки Ангары сохранился для Богоявленского собора и Спасской церкви, а также для Знаменской, благодаря тому, что первоначально храмы были поставлены близко к береговой линии.

Определение коридоров и углов видимости Харлампиевской церкви
 в современном застроенном пространстве города
 Determining the corridors and viewing angles of Kharlampiev Church
 in the modern built-up area of the city

	Фотография (май 2024 г.)		—	—
№ пп	Свойства экспозиции	Обозначение точек обзора здания	Определение длины расстояния и величины угла обзора	Числовое обозначение свойств
1	Полный обзор здания			с 30 ÷ 65 м; угол обзора от 34 ° до 62 °
2	Коридоры видимости на всю высоту здания церкви			с 80 ÷ 270 м; угол обзора от 4 ° до 15 °
3	В просветах между высотной застройкой (венчающие элементы)			с 220 ÷ 290 м; угол обзора от 3 ° до 4 °
4	Видимость венчающих элементов храма над одноэтаж- ной застройкой			с 100 ÷ 340 м; угол обзора от 21 ° до 54 °
5	Сквозь массив зеленых насаждений (кроме летнего сезона)			с 100 ÷ 190 м; угол обзора от 5 ° до 28 °

Вверх по течению видно шпили и золото крестов Троицкой и Харлампиевской, которые сегодня прикрыты со стороны набережной высотной четырех- и пятиэтажной застройкой, а также массивом зелени вдоль береговой линии.

Еще чуть дальше, в створе островов Юность и Конный, на возвышенности находится Крестовоздвиженская церковь. Выбранное когда-то для ее строительства место на бровке Иерусалимской горы до сих пор позволяет храму доминировать над одно- и двухэтажной прилегающей застройкой с северо-восточной стороны от храма.

При этом все более уплотняющаяся и высотная застройка в предмостном пространстве новейшего Академического моста начинает постепенно прикрывать бассейны видимости и этой церкви.

Видимость храма в городской застройке оценивается с учетом высотных отметок частей здания (от основания до креста). В таблице приведен пример такой оценки.

Изучая видимость храмов в пространстве современного города, можно отметить, что практически все здания церквей от уровня земли до венчающих крестов открыты для обозрения с расстояния от 20 до 150 м (Троицкая 41–140 м, Владимирская 55–70 м, Знаменская 20–90 м, Крестовоздвиженская 25–35 м, Спаса-Преображенская 25–100 м, Богоявления 70–150 м, Спасская 40–85 м).

Обозревая здания церквей с закрепленной за приходами современной территорией, стоит отметить, что в большинстве случаев видно только часть храма, поскольку зритель стоит очень близко к стенам строения из-за маленькой площади участка (за исключением территории Троицкого храма, но и здесь вид на храм сильно прикрывает массив зеленых насаждений). Итак – местом наилучшего обзора на всю высоту церкви является ближайший перекресток улиц.

Хорошо видимы протяженные фасады церквей, открывающиеся на одну из рядом расположенных улиц. Южный фасад Харлампиевской церкви, северные фасады собора Богоявления и Преображенской церкви прекрасно видны с ул. Горького, Тимирязева и Нижней набережной. Северный фасад Крестовоздвиженской церкви, ориентированный на северо-западный склон Иерусалимской горы и ул. Подгорную полностью скрыт массивом зелени.

Следующий по ухудшению видимости элемент обзора – над и в створе сохранившейся деревянной исторической застройки и вдоль

улицы. Такие фрагменты обзора сохранились для Харлампиевской церкви со стороны ул. Степана Разина, Крестовоздвиженской со стороны ул. Коммунаров (и по-прежнему сквозь массив зелени) и для Преображенской со стороны ул. Фридриха Энгельса и Декабрьских Событий.

В последнем случае видно, что двухэтажные исторические дома вдоль ул. Декабрьских событий почти перекрывают собой вид на храм, в отличие от одноэтажных домов, венчающие элементы церкви над которыми остаются видимыми вдоль всей линии застройки. Доминирующими акцентами в завершении перспективы улиц остались Преображенская на юго-востоке ул. Франк-Каменецкого, Входа-Иерусалимская – на северо-востоке ул. Коммунаров. Спасская и Богоявленская церкви доминирует в перспективе ул. Сухэ-Батора, на север от перекрестка с ул. Желязова.

Прекрасным доминирующим акцентом является Знаменская церковь в перспективе ул. Ангарской при движении по ней с севера на юг (в сторону Маратовского транспортного кольца).

Этот вид сегодня доступен только тем, кто перемещается на транспорте, поскольку ул. Ангарская не обустроена пешеходными путями. Еще одну воздушную перспективу замыкает Знаменская церковь вдоль русла реки Иркут.

Обнаружены так называемые «неожиданные просветы», когда в пространстве между высотными домами вдруг проявляется храм или их группа.

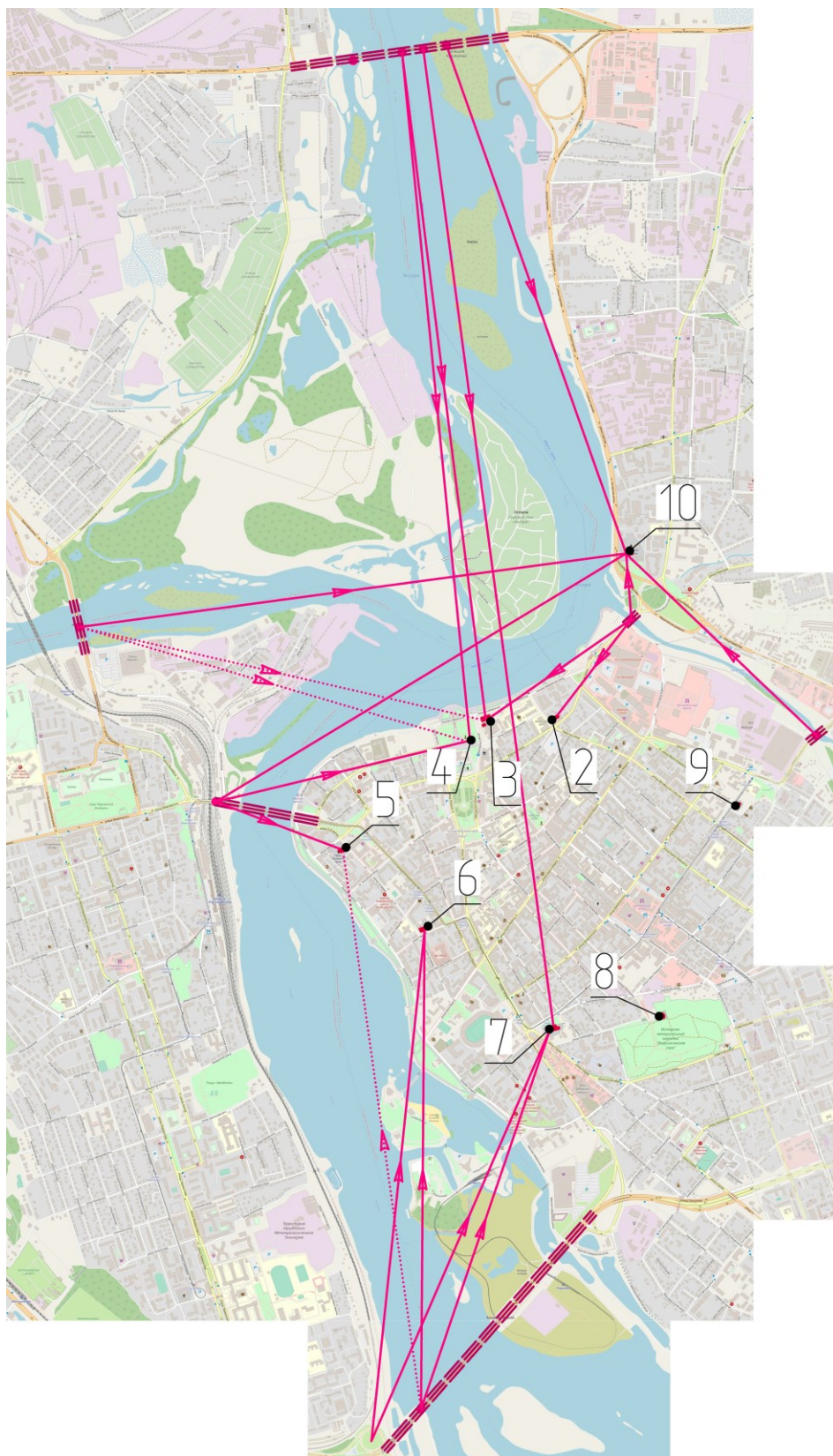
С Верхней Набережной Ангары и с бул. им. Гагарина в просветах домов увидим Троицкую и Харлампиевскую церкви.

Особое значение в раскрытии целостного ансамбля церквей [10] имеет их расположение в долине крупной реки Ангары.

Огромное открытое пространство акватории и расположение храмов на бортах долины создает возможность системного подхода к формированию церковной панорамы города. А обзорными площадками служат мосты над рекой.

Автомобильные и пешеходные мосты, которые поднимаются над рекой и над застройкой города, позволяют увидеть больше, чем можно видеть с поверхности земли: три над Ангарой, один над Иркутом, два над Ушаковкой, один пешеходный мост над ул. Седова и другой над ул. Рабочей.

С каждого из этих мостов видно венчающие элементы Иркутских храмов (рис. 3).



**Рис. 3. Схема современных автомобильных мостов Иркутска с обозначением коридоров
видимости православных храмов центральной исторической части**

**Fig. 3. Diagram of modern automobile bridges in Irkutsk with the designation of the visibility
corridors of Orthodox churches in the central historical part**

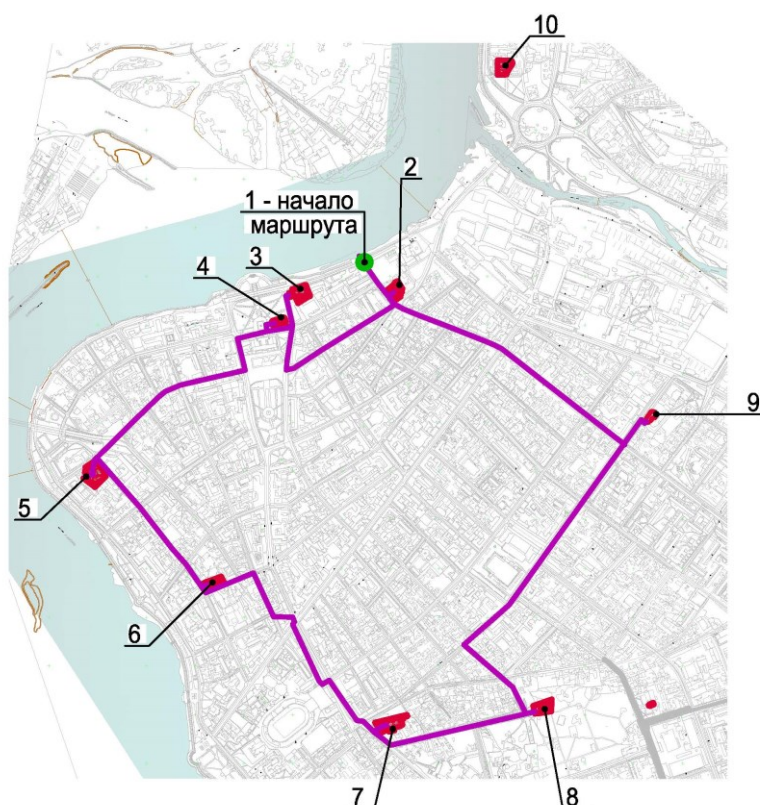


Рис. 4. Схема пешеходного маршрута: 1) Московские ворота; 2) Владимирская церковь; 3) собор Богоявления; 4) Спасская церковь; 5) Троицкая церковь; 6) Харлампиевская церковь; 7) Крестовоздвиженская церковь; 8) церковь входа Господня в Иерусалим (кладбищенская); 9) Преображенская церковь; 10) Знаменская церковь
Fig. 4. The walking route diagram: 1) Moscow Gate; 2) Vladimir Church; 3) Cathedral of the Epiphany; 4) Spasskaya Church; 5) Trinity Church; 6) Kharlampiev Church; 7) Holy Cross Church; 8) Church of the Entry of the Lord into Jerusalem (cemetery); 9) Transfiguration Church; 10) Znamenskaya Church

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были изучены эволюционные изменения пространств вокруг православных храмов от открытых просторных площадей, окруженных кварталами с одноэтажной жилой застройкой, до небольших участков, «вживленных в тело» кварталов города. Исключением являются улицы вокруг участка с Троицкой церковью. Красные линии застройки кварталов были проведены с учетом отступа от стен каменных церквей в сторону проезжей части.

Рассмотрены расположение участков со зданиями церквей в структуре улиц и квартальной застройки, их изменения от открытых площадей неправильной ломаной конфигурации с примыканием улиц в углах площадей к огороженным территориям, до занимающих угловое положение в квартале и ориентированных

двумя сторонами на прилегающие улицы города.

Сохранившиеся каменные православные храмы по типу компоновки основных объемов «кораблем», возведенные в XVIII столетии, опоясывают центральную историческую часть города по ее наружному периметру, образуя неповторимый ансамбль церквей в стиле устюжского и иркутского барокко (рис. 4). Познакомиться с этим ансамблем можно, пройдя по пешеходному туристическому маршруту с началом путешествия от Московских ворот на Нижней Набережной, по улицам города, с постепенным переходом от Владимирского храма к Спасскому и собору Богоявления, далее к Троицкой, Харлампиевской, Крестовоздвиженской, Входиерусалимской и Преображенской церквям.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Большаков А.Г. Культура пространственных решеток в градостроительстве и архитектуре. Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2021. 260 с. EDN: XCLKXV.

2. Большаков А.Г. Градостроительная форма городского ландшафта как условие и результат планирования и регулирования градостроительной деятельности в Иркутске // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2010. № 7 (47). С. 70–80. EDN: NCGKEJ.
3. Бубис Н.Г. Регулирование застройки дореволюционного Иркутска: основные положения // Проект Байкал. 2010. № 7 (26). С. 148–152. <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.26.162>.
4. Бусева-Давыдова И.Л. Об истоках композиционного типа «восьмерик на четверике» в русской архитектуре конца XVII в. // Архитектурное наследство. 1985. № 33. С. 220–226.
5. Глебова Н.М., Большаков А.Г. Принципы сохранения и формирования архитектурной идентичности в уличной застройке исторической части г. Иркутска // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 3. С. 606–619. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-3-606-619>. EDN: GKNFOF.
6. Горбань К.Е. Принципы композиционно-видовых связей (панорам) в понятии исторического поселения // Баландинские чтения. 2020. Т. 15. С. 445–453. <https://doi.org/10.24411/9999-001A-2020-10049>. EDN: EAYMXN.
7. Калинина И.В., Красная Н.Н. Город и дерево. Архитектура и ремесло. Иркутск: МаиР, 2013. 452 с.
8. Калинина И.В., Медведев С.И. Храмы дореволюционного Иркутска. Иркутск: Репроцентр А1, 2013. 124 с.
9. Козлов В.В. Градостроительная история Иркутска: монография. Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2019. 332 с.
10. Козлова Г.С., Козлова Л. Опыт композиционного исследования утраченных храмов в учебном проектировании // Проект Байкал. 2021. № 3 (69). С. 150–157. <https://doi.org/10.51461/projectbaikal.69.1867>.
11. Корзун А.А. Храмы Иркутска. Культурный феномен «сибирского барокко» // Проект Байкал. 2014. № 11 (41). С. 114–123. <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.41.753>.
12. Крючкова Т.А. Иркутское барокко. М.: Сorex, 1993. 357 с.
13. Масиель Санчес Л.К. Каменные храмы Сибири XVIII века эволюция форм и региональные особенности. М.: Государственный институт искусствознания, 2004. 29 с.
14. Оглы Б.И. Строительство городов Сибири. Ленинград: Стройиздат, 1980. 272 с.
15. Полунина Н.М. У истоков каменного града. Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство, 1979. 128 с.
16. Полунина Н.М. Живая старина Приангарья. М.: Искусство, 1990. 174 с.
17. Селиванов Р.А. Опыт регулирования застройки в историческом городе XVIII-XIX веков на примере Иркутска. Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2020. 105 с.
18. Торшина Н.Г. Краткая историческая справка на Иркутскую Спасо-Преображенскую церковь. Из личного архива Торшиной Н.Г. Иркутск, 2014. 3 с.
19. Шахеров В.П. Иркутск купеческий: История города в лицах и судьбах. Хабаровск: Приамурские ведомости, 2006. С. 46–47. EDN: UCOJLH.
20. Щербин В.Т. Памятники градостроительства и архитектуры // Памятники истории и культуры Иркутска. Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство, 1993. С. 280–307.

REFERENCES

1. Bolshakov A.G. *The Culture of Spatial Grids in Urban Planning and Architecture*. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University, 2021. 260 p. (In Russ.). EDN: XCLKXV.
2. Bolshakov A.G. Town-Planning Form of Urban Landscape as A Condition and A Result of Planning and Regulation of the Town-Planning in Irkutsk. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2010;7(47):70-80. (In Russ.). EDN: NCGKEJ.
3. Buis N.G. Regulation of Development in Pre-Revolutionary Irkutsk: Main Provisions. *Project Baikal*. 2010;7(26):148-152. (In Russ.). <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.26.162>.
4. Buseva-Davydova I.L. On The Origins of the Compositional Type “Octagon On Quadrangle” In Russian Architecture of the Late 17th Century. *Arkhitekturnoe nasledstvo*. 1985;33:220-226. (In Russ.).
5. Glebova N.M., Bolshakov A.G. Principles of The Preservation and Formation of the Architectural Identity in Street Construction in The Historical Part of Irkutsk. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2019;9(3):606-619. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-3-606-619>. EDN: GKNFOF.
6. Gorban K.E. Principles of Compositional Links (Panoramas) In The Concept of a Historical Settlement. *Balandinskie chteniya*. 2020;15:445-453. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/9999-001A-2020-10049>. EDN: EAYMXN.
7. Kalinina I.V., Krasnaya N.N. *City and Tree. Architecture and Craft*. Irkutsk: MaiR, 2013. 452 p. (In Russ.).
8. Kalinina I.V., Medvedev S.I. *Temples of Pre-Revolutionary Irkutsk*. Irkutsk: Reprocentr A1, 2013. 124 p. (In Russ.).

9. Kozlov V.V. *Urban History of Irkutsk: Monograph*. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University, 2019. 332 p. (In Russ.).
10. Kozlova G.S., Kozlova L. Compositional Study of the Lost Temples in Instructional Design. *Project Baikal*. 2021;3(69):150-157. (In Russ.). <https://doi.org/10.51461/projectbaikal.69.1867>.
11. Korzun A.A. The Irkutsk Temples. Cultural Phenomenon of "Siberian Baroque". *Project Baikal*. 2014;11(41):114-123. (In Russ.). <https://doi.org/10.7480/projectbaikal.41.753>.
12. Kryuchkova T.A. *Irkutsk Baroque*. Moscow: Sorek, 1993. 357 p. (In Russ.).
13. Masiel' Sanches L.K. *Stone Temples of Siberia of The 18th Century, Evolution of Forms and Regional Features*. Moscow: State Institute of Art Studies, 2004. 29 p. (In Russ.).
14. Ogly B.I. *Construction of Cities in Siberia*. Leningrad: Stroyizdat, 1980. 272 p. (In Russ.).
15. Polunina N.M. *At The Origins of the Stone City*. Irkutsk: East Siberian Book Publishing House, 1979. 128 p. (In Russ.).
16. Polunina N.M. Living Antiquity of the Angara Region. Moscow: Art, 1990. 174 p. (In Russ.).
17. Selivanov R.A. *Experience in Regulating Development in A Historical City of The 18th-19th Centuries Using the Example of Irkutsk*. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University, 2020. 105 p. (In Russ.).
18. Torshina N.G. *Brief historical information on the Irkutsk Transfiguration Church. From the personal archive of Torshina N.G.* Irkutsk, 2014. 3 p. (In Russ.).
19. Shakherov V.P. *Irkutsk Merchant: History of The City in Faces and Destinies*. Khabarovsk: Priamurskie Vedomosti, 2006. p. 46–47. (In Russ.). EDN: UCOJLH.
20. Shcherbin V.T. Monuments of Urban Planning and Architecture. In: *Monuments of History and Culture of Irkutsk*. Irkutsk: East Siberian Book Publishing House, 1993. p. 280–307. (In Russ.).

Информация об авторе

Сосновская Виктория Викторовна,
аспирант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉e-mail: polutchevavv@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-8665-0167>
Author ID: 36440

Information about the author

Viktoria V. Sosnovskaya,
Postgraduate Student,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉e-mail: polutchevavv@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-8665-0167>
Author ID: 36440

Вклад автора

Автор выполнил исследовательскую работу,
на основании полученных результатов провел
обобщение, подготовил рукопись к печати.

Автор имеет на статью исключительные
авторские права и несет ответственность за
плагиат.

Contribution of the author

The author performed the research, made
generalization based on the results obtained and
prepared the copyright for publication.

Author has exclusive author's right and bear
responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта
интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный
вариант рукописи.

Conflict of interests

The author declare no conflict of interests regarding
the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved
by the author.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 31.10.2024.
Одобрена после рецензирования 26.11.2024.
Принята к публикации 28.11.2024.

Information about the article

The article was submitted 31.10.2024.
Approved after reviewing 26.11.2024.
Accepted for publication 28.11.2024.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Мы приглашаем Вас к участию в нашем журнале в качестве авторов, рекламодателей, читателей и сообщаем требования к статьям, принимаемым к публикации.

Журнал «Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость» публикует научные статьи и обзоры российских и зарубежных ученых, в том числе докторантов и аспирантов, содержащие новые результаты научных исследований.

Тематический охват соответствует утвержденной номенклатуре научных специальностей:

- 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки);
- 2.1.2. Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки);
- 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки);
- 2.1.4. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов (технические науки);
- 2.1.5. Строительные материалы и изделия (технические науки);
- 2.1.6. Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология (технические науки);
- 2.1.7. Технология и организация строительства (технические науки);
- 2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки);
- 2.1.9. Строительная механика (технические науки);
- 2.1.10. Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства (технические науки);
- 2.1.11. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (архитектура);
- 2.1.12. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (архитектура);
- 2.1.13. Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (архитектура)
- 2.1.14. Управление жизненным циклом объектов строительства (технические науки)
- 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономические науки)
- 5.2.6. Менеджмент (экономические науки)

Представляемая в журнал работа должна быть законченным научным исследованием и содержать новые научные результаты, нигде ранее не публиковавшиеся и не представленные к публикации в других изданиях.

Статьи должны быть выполнены на высоком научном уровне и содержать результаты исследований по соответствующей проблематике. Рукопись, присылаемая в редакцию, должна соответствовать тематике журнала и требованиям редакции к оформлению рукописей.

1. Материалы, представляемые авторами в редакцию:

- Статья в печатном виде и идентичном варианте в электронной форме (с расширением *.docx и *.pdf);
- Иллюстрации к статье (рисунки, графики и т.д.) в электронном виде (в формате jpg);
- Авторское заявление;
- Сопроводительное письмо;
- Договор;
- Экспертное заключение.

2. Рукопись должна быть построена следующим образом:

- **Шифр УДК;**
- **Название статьи;**
- **Информация об авторах:** фамилия, имя, отчество; название учреждения;
- **Реферат (аннотация)** – количество слов – 190;
- **Ключевые слова** – (4–6);
- **Библиографические ссылки** должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ Р7.05 2008.
- **Критерии авторства, конфликт интересов;**
- **Сведения об авторах:** фамилия, имя, отчество (полностью); ученая степень, звание и должность; название учреждения, его адрес с индексом; e-mail; ORCID, ID.
- **Название рубрики**, в которой должна быть размещена статья.

3. Рекомендации по набору и оформлению текста

Параметры страницы и абзаца: отступы сверху и снизу – 2 см; слева и справа – 2 см; табуляция – 0,6 см; ориентация – книжная;

Шрифт – *Arial*, размер – 10,5, межстрочный интервал – одинарный, перенос слов – автоматический.

При вставке формул использовать *Microsoft Equation 3* при установках: элементы формулы выполняются – курсивом; для греческих букв и символов назначать шрифт *Symbol*, для остальных элементов – *Arial*.

Размер символов: обычный – 12 пт, крупный индекс – 7 пт, мелкий индекс – 5 пт, крупный символ – 18 пт, мелкий символ – 12 пт. Все экспликации элементов формул необходимо также выполнять в виде формул.

Рисунки, вставленные в текст, должны быть выполнены с разрешением 300 dpi, *B&W* – для черно-белых иллюстраций, *Grayscale* – для полутонов, максимальный размер рисунка с надписью: ширина 170 мм, высота 245 мм. Рисунки должны быть представлены в виде файла с расширением *.BMP, *.TIFF, *.JPG, должны допускать перемещение в тексте и возможность изменения размеров. Схемы, графики выполняются во встроенной программе *MS Word* или в *MS Excel*, с приложением файлов.

Для построения графиков и диаграмм следует использовать программу *Microsoft Office Excel*. Каждый рисунок вставляется в текст как объект *Microsoft Office Excel*.

Внимание! Публикация статьи является бесплатной.

Для авторов / For authors

Статьи направляются в редакцию журнала по электронной почте izv_isn@istu.edu.

Рукописи статей и оригиналы всех необходимых документов предоставляются по адресу: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, редакционный отдел, ауд. Д-215, О.В. Никишиной

Телефон: (3952) 40-56-11, с.т.: 8 964 656 46 70 – Никишина Ольга Валерьевна, ответственный за выпуск,

(3952) 40-52-74 – Маркина Ирина Павловна, редактор.

**ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ
ИНВЕСТИЦИИ. СТРОИТЕЛЬСТВО. НЕДВИЖИМОСТЬ**

Научный журнал

12+

Том 15 № 1 (52)

Главный редактор В.В. Пешков
Ответственный за выпуск О.В. Никишина
Дизайн и макет издания Е.В. Хохрина
Перевод Томаса Бивитта, Н.Г. Поповой, О.В. Никишиной
Верстка О.В. Никишиной
Редактор И.П. Маркина

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных технологий и массовых
коммуникаций (Роскомнадзор)
Свидетельство ПИ № ФС77-62787 от 18 августа 2015 г.

Выход в свет 25.03.2025. Формат 60 x 90 / 8 (А4).
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 23,50.
Тираж 500 экз. Зак. 176н. Поз. плана 6н.

Издание распространяется бесплатно

ФГБОУ ВО "Иркутский национальный исследовательский технический университет"
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Отпечатано в типографии Издательства
ФГБОУ ВО "Иркутский национальный исследовательский технический университет"
Адрес типографии: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83А



ВЫСШАЯ
АТТЕСТАЦИОННАЯ КОМИССИЯ (ВАК)
Министерства образования и науки Российской Федерации



РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ
Science Index



CYBERLENINKA

OPEN  ACCESS

 **BASE**



INDEX  COPERNICUS
INTERNATIONAL

Google Scholar



АНРИ

Ассоциация научных
редакторов и издателей

