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

12+



IZVESTIYA VUZOV
Investitsii
Stroitelstvo
Nedvizhimost

ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ

ИНВЕСТИЦИИ
СТРОИТЕЛЬСТВО
НЕДВИЖИМОСТЬ

Том 15 № 2
2025

ГОРСТРОЙ
СТРОИМ С ГОРДОСТЬЮ

ГОРСТРОЙ – это новые технологии, смелые решения и соблюдение традиций отрасли









О КОМПАНИИ

ГОРСТРОЙ – иркутская девелоперская компания, основанная в 2002 г. Компания профессионально ведет деятельность по возведению многоквартирных домов. В проектном портфеле более 200 000 м^2 недвижимости, восемь построенных жилых комплексов: «Чудный», «Ушаковский», «Патриот», «Молодежный», «Перспектива», «Статус», «Соседи» и «Скандинавия».

В настоящее время компания реализует проекты по строительству клубного дома бизнес-класса «RIVERANG» на берегу р. Ангары и комплекса клубных домов премиум-класса «Звезды».

Численность сотрудников компании за годы деятельности выросла в десятки раз, и сегодня штат насчитывает более 100 человек. Среди них профессиональные проектировщики и строители. ГОРСТРОЙ сотрудничает с лучшими архитекторами Иркутска и российскими научно-производственными компаниями, работающими в сфере возведения недвижимых объектов. Привлекаются иностранные специалисты – подтверждением этого является проект жилого комплекса «Скандинавия», разработанный совместно с коллегами из Швеции.

В коллективе ГОРСТРОЯ много молодых специалистов. Большинство из них – выпускники ИрНИТУ. Студенты приходят в ГОРСТРОЙ на практику, закрепляются в компании и после выпуска становятся частью команды. Под руководством опытных коллег они создают новый образ города.

В настоящее время компания начала разработку проекта комплексного развития территории в п. Маркова Иркутского района. Девелоперу предстоит создать город в городе – жилой квартал, площадью 20 га с развитой инфраструктурой. Там, где сейчас лес, появятся жилые дома различной этажности и парковки. В квартале построят детский сад, школу, поликлинику и торговый центр, чтобы не только предоставить жителям рабочие места, но и обеспечить их досуг и комфорт.

За годы работы в строительстве многоквартирного жилья ГОРСТРОЙ зарекомендовал себя как надежная компания с большим опытом успешно реализованных проектов. Своим приоритетом ГОРСТРОЙ определяет создание объектов недвижимости высокого уровня качества в районах города с развитой инфраструктурой.

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 № 2
Vol.

ИЗДАТЕЛЬСТВО
Иркутского национального исследовательского технического университета

PUBLISHERS
of Irkutsk National Research Technical University
2025

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

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 Минобразования России

Журнал включен в следующие базы данных: EBSCO Publishing Databases, ВИНИТИ 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.

ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», 2025

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

FSBEIHE “Irkutsk National Research Technical University”, 2025

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, заведующий кафедрой дорожно-строительных материалов Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета, действительный член Международного института строителей, Эксперт РАН (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, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией трубопроводных и гидравлических систем Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН (Иркутск, Россия)

Сетогути 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, Head of the Department of Road Construction Materials of Moscow Automobile and Highway State Technical University, Full Member of the International Institute of Builders, Expert of the Russian Academy of Sciences (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)
Nguen 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)
Urkhanova 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 № 2 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Абмаева Е.М., Добышева Т.В., Ямщикова И.В. Жилищное строительство в России: анализ состояния и перспективы развития 192
Зайцева Л.И., Сивяков В.А. Перезагрузка строительного рынка в условиях нарастания противоречий инвестиционно-строительной деятельности 201
Казимиров И.А., Матвеева М.В. Разработка концепции определения локальных центров регионального рынка недвижимости в свете теорий региональной экономики 213

СТРОИТЕЛЬСТВО

Абросимова И.А., Бобер В.А., Ярыгин Р.Н., Мэндбаяр Б. Оптимизация систем водоснабжения на основе критерия стоимости их жизненного цикла 221
Адегбола А.А.А, Толстой М.Ю., Чижик К.И. Существующие методы накопления, систематизации и обработки массива больших данных в отрасли жилищно-коммунального хозяйства и использования энергоресурсов 236
Корнеева И.Г., Емельянова Н.А. К вопросу растяжимости фибробетона с полипропиленовым волокном 244
Малышев В.Н. Перспективы применения изделий из серобетона в дорожном строительстве с использованием местной ресурсной базы 251
Никитин А.Р., Синенко С.А. О результатах анализа проектной документации для строительства, разработанной с использованием технологий информационного моделирования 257
Пучков М.В., Загрутдинов И.Ф. Предпосылки к эволюционному внедрению информационного моделирования в строительной отрасли 266
Середа Т.Г., Костарев С.Н. Разработка программы для расчета осадок фундамента здания методом послойного суммирования на естественном основании 277
Тлявлина Г.В., Тлявлин Р.М., Емельянова Г.А. Сценарии аварий сооружений инженерной защиты объектов транспорта от гидродинамических воздействий морских волн 292
Чадов Р.Ю., Пешков А.В., Кудрявцева В.А. Управление данными информационной модели гидротехнических сооружений на этапе проектирования 301
Чернышов Л.Н., Смолина Л.Ф., Калгушкин А.Г. Профориентация как инструмент кадрового обеспечения деятельности в сфере эксплуатации зданий, строений, сооружений 311
Шалагинова З.И., Токарев В.В. Применение информационно-вычислительных технологий для обоснования проектных решений по реконструкции и развитию теплоснабжающих систем и разработке мероприятий по их внедрению 320
Шлепнёва Т.О., Никишина О.В., Дедюхина Е.С. Применение искусственного интеллекта в сфере строительства: преимущества и возможные пути дальнейшего развития 336

АРХИТЕКТУРА. ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ДИЗАЙН

Балабенко Е.В. Оптимальная организация участка объекта обращения с твердыми коммунальными отходами: градоморфологический и пространственный анализ, многофакторная оценка 347
Кузнецова А.Д., Еремеева А.Ф. Особенности формирования туристического центра на о. Ягры в г. Северодвинске. Предпроектный анализ 359

CONTENTS

Proceedings of Universities
Investment. Construction. Real estate

Том 15 № 2 2025

CONTENTS

ECONOMICS AND MANAGEMENT

Abmaeva E.M., Dobysheva T.V., Yamshchikova I.V. Housing construction in Russia: state and development prospects 192
Zaitseva L.I., Sivyakov V.A. Rebooting the construction market in the context of increasing contradictions in investment and construction activities 201
Kazimirov I.A., Matveeva M.V. Development of a concept for defining local centers of the regional real estate market in the light of regional economic theories 213

CONSTRUCTION

Abrosimova I.A., Bober V.A., Yarygin R.N., Mendbayar B. Optimization of water supply systems based on the cost criterion of their life cycle 221
Adegbola A.A.A., Tolstoy M.Yu., Chizhik K.I. Existing methods of accumulation, systematization and processing of big data in the field of housing and communal services and the use of energy resources 236
Korneeva I.G., Emelyanova N.A. On the issue of stretchability of fiber-reinforced concrete with polypropylene fiber 244
Malyshev V.N. Prospects for using sulfur concrete products with domestic resource base in road construction 251
Nikitin A.R., Sinenko S.A. On the results of the analysis of design documentation for construction, developed using information modeling technologies 257
Puchkov M.V., Zagrutdinov I.F. Prerequisites for the evolutionary implementation of information modeling in the construction industry. 266
Sereda T.G., Kostarev S.N. Development of a program for calculating the precipitation of the foundation of a building by the method of layer-by-layer summation on a natural basis 277
Tlyavlina G.V., Tlyavlin R.M., Emelianova G.A. Scenarios of accidents of engineering structures protecting transport facilities from the hydrodynamic effects of sea waves 292
Chadov R.Yu., Peshkov A.V., Kudryavtseva V.A. Data management of the information model of hydraulic structures at the design stage 301
Chernyshov L.N., Smolina L.F., Kalgushkin A.G. Vocational guidance as a tool for staffing support in building maintenance 311
Shalaginova Z.I., Tokarev V.V. Use of information-computer technologies for justification of design decisions on reconstruction and development of heat supply systems and measures for their implementation 320
Shlepneva T.O., Nikishina O.V., Dedyukhina E.S. Application of artificial intelligence in the construction industry: advantages and possible ways of further development 336

ARCHITECTURE. URBAN CONSTRUCTION. DESIGN

Balabenko E.V. Optimal organization of sites for solid municipal waste management: urban morphology and spatial analysis, multi-factor evaluation 347
Kuznetsova A.D., Eremeeva A.F. Features of the formation of a tourist center on the island of Yagry in Severodvinsk. Pre-project analysis 359

Научная статья
УДК 332.85
EDN: ERKYGP
DOI: 10.21285/2227-2917-2025-2-192-200

Жилищное строительство в России: анализ состояния и перспективы развития

Е.М. Абмаева[1]✉, Т.В. Добышева[2], И.В. Ямщикова[3]
[1]ООО «Байкальская инжиниринговая компания», Иркутск, Россия
[2,3]Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Аннотация. Целью данной работы является исследование текущей ситуации на рынке жилищного строительства России в условиях снижения спроса и доступности ипотечного кредитования, вследствие санкций и повышения ключевой ставки Центрального банка, а также в условиях высокой инфляции. Исследование проведено с применением сравнительного и статистического анализов, метода систематизации теоретического и практического материала. Проанализированы данные строительной отрасли, представленные Единой информационной системой жилищного строительства и Федеральной службой государственной статистики с 2019 по 2024 г. Представлены лидеры по показателям объема ввода в эксплуатацию жилых домов среди федеральных округов. Рассмотрено современное состояние жилищного строительства и перспективы его развития. Проанализированы причины активного роста отрасли, несмотря на влияние пандемии, санкций и высокой инфляции. Основное внимание уделено влиянию отмены льготной ипотеки, повышения Центральным банком ключевой ставки, а также на спрос населения и доступность ипотечного кредитования. Рассмотрены причины уменьшения показателей выдачи жилищных ипотечных кредитов по сравнению с предыдущими периодами. Перечислены поправки в законодательство строительной отрасли и их значение. По результатам исследования выявлены факторы, которые негативно влияют на развитие строительной отрасли, перечислены возможные меры поддержки жилищного строительства.

***Ключевые слова*:** жилищное строительство, ипотечное кредитование, рынок недвижимости. льготные программы, ключевая ставка

***Для цитирования*:** Абмаева Е.М., Добышева Т.В., Ямщикова И.В. Жилищное строительство в России: анализ состояния и перспективы развития // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 2. С. 192–200. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-192-200. EDN: ERKYGP.

Original article

Housing construction in Russia: state and development prospects

Ekaterina M. Abmaeva[1]✉, Tatyana V. Dobysheva[2], Irina V. Yamshchikova[3]
[1]Baikal Engineering Company LLC, Irkutsk, Russia
[2,3]Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The study reviews the current situation in the Russian housing construction market under declining demand and less affordable mortgage lending, sanctions and increased Central Bank key rate, as well as high inflation conditions. The study uses the methods of comparative and statistical analysis, as well as systematization of theoretical and practical material. The analysis is based on the data of 2019–2024 from the Unified Information System for Housing Construction and the Federal State Statistics Service. The federal district leaders for commissioning residential buildings are presented. In addition to the current state of housing construction and prospects for its development, we analyze the reasons for the active industrial growth independent of the pandemic, sanctions, and high inflation. The focus is on the effect of cancelled preferential mortgages, increased key rate by the Central Bank, as well as the population demand and affordable mortgage lending. The reasons for the decrease in issuance of housing mortgage loans are considered compared to previous periods. Amendments to the legislation in

© Абмаева Е.М., Добышева Т.В., Ямщикова И.В., 2025

the construction industry are listed and commented. The performed study identifies factors negatively affecting the development of the construction industry and provides possible measures to support housing construction.

Keywords: housing construction, mortgage lending, real estate market. preferential programs, key rate

For citation: Abmaeva E.M., Dobysheva T.V., Yamshchikova I.V. Housing construction in Russia: state and development prospects. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(2):192-200. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-192-200. EDN: ERKYGP.

ВВЕДЕНИЕ

Сфера строительства является одной из значимых и активно развивающихся отраслей в экономике России. Она получает государственную поддержку, действуют различные льготные программы, развивается законодательная база.

Строительная отрасль реагирует на любые изменения экономической ситуации не только в стране, но и в мире. При благоприятной ситуации население вкладывает средства в покупку недвижимости, а девелоперы развивают новые проекты.

В период экономической нестабильности спрос на объекты снижается, из-за чего доходы строительных компаний уменьшаются, и застройщики вынуждены разрабатывать более дешевые проекты, а в некоторых ситуациях даже приостанавливать действующее строительство и разработку будущих проектов. Снижение темпов строительства объектов негативно влияет на отрасль и требует принятия поддерживающих мер.

Строительство осуществляет большой вклад в валовой внутренний продукт (ВВП). С 2021 по 2023 г. отраслью строительства было произведено 4,8, 5,0 и 5,0 % ВВП соответственно. Среднегодовая численность рабочих, занятых в строительстве, на 2023 г. составляет 6,8 млн чел. – 9,3 % от общей численности работающего населения России[1].

МЕТОДЫ

Для развития жилищного строительства необходимо отслеживать влияние экономической ситуации и нестабильности на рынок жилья при помощи сбора и анализа статистической информации с официальных сайтов, изучения экспертного мнения крупных строительных организаций и государственных служащих. В статье приведена информация о состоянии сферы жилищного строительства в России, проанализированы показатели выполненных объемов работ и ввода жилья за последние несколько лет, рассмотрена динамика жилищного ипотечного кредитования после отмены льготной поддержки, перечислены возможные меры поддержки отрасли.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

За последние несколько лет строительная отрасль активно развивается, о чем свидетельствует положительная динамика объема работ (табл. 1). В период с 2019 по 2023 г. на национальную экономику и рынок жилья оказывали влияние пандемия, санкции и высокая инфляция. Несмотря на это, в 2022 г. объем выполненных работ увеличился на 19 %, чем годом ранее, а прирост объема в 2023 г. по отношению к 2022 г. составил 15,9 %.

Таблица 1. Динамика объема работ, выполненных по виду экономической деятельности «Строительство» в России, 2019–2023 гг[2].
Table 1. Dynamics of the volume of work performed by type of economic activity “Construction” in the Russia, 2019–2023[2].

Период	Объем работ, млрд руб.	Объем работ в сопоставимых ценах к предыдущему году, %
2019	9 132,2	102,1
2020	9 686,3	102,1
2021	11 047,9	107,0
2022	13 149,4	107,5
2023	15 244,3	109,0

[1]Строительство в России. 2024: Стат. Сб. Росстат. М.: 2021. 118 с. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Stroit_2024.pdf (дата обращения: 04.02.2025).
[2]Строительство. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/folder/14458 (дата обращения: 04.02.2025).

Жилищное строительство является важным фактором развития регионов.

Возводятся жилые дома и целые микрорайоны, что способствует улучшению жилищных условий, качества жизни населения, развитию социальной и транспортной инфраструктуры [1, 2]. Именно поэтому, к числу приоритетных направлений социально-экономического развития в настоящее время относится решение жилищной проблемы и формирование рынка доступного и комфортного жилья [3].

Основным показателем, характеризующим уровень и темпы развития рынка недвижимости, является ввод общей площади объекта недвижимости [4].

За последние несколько лет жилищное строительство в России демонстрирует рост. В 2023 г. было введено 110 438 тыс. м^2 жилья, что превзошло показатели за 2021 и 2022 г. (92 560 тыс. м^2 и 102 713 тыс. м^2 соответственно), а также стало рекордным показателем за всю историю страны. Это стало возможным благодаря мерам поддержки от государства, действующим с 2020 г.

По данным Единой информационной системы жилищного строительства в 2024 г. фактический объем ввода жилья в России составил 107 766 тыс. м^2. По сравнению с 2023 г. объем сократился на 2 %. Динамика ввода жилых домов представлена на рис. 1[3].

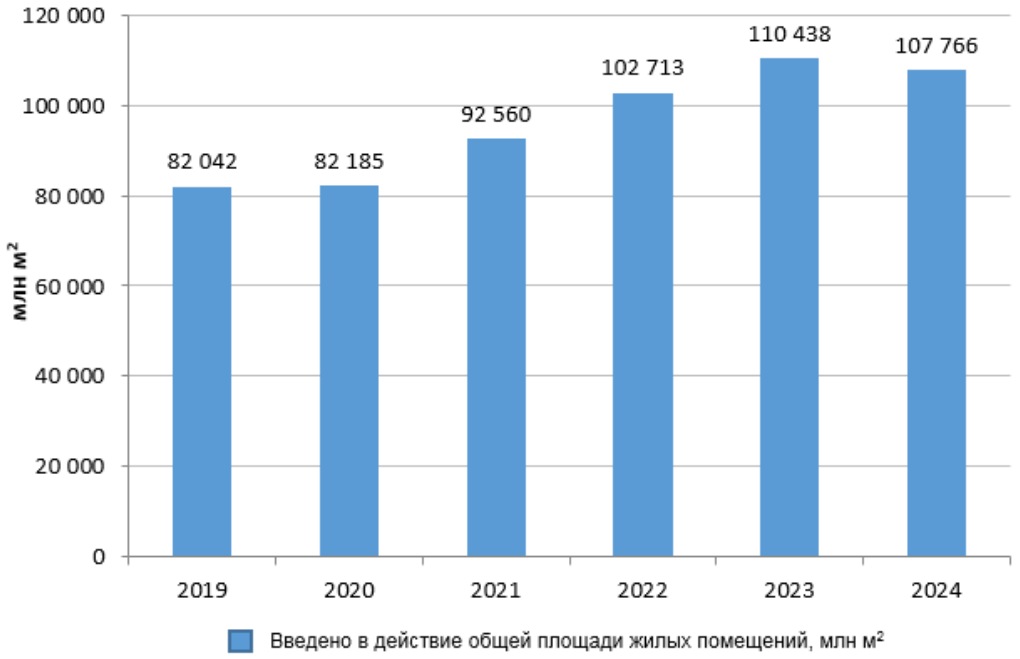


Рис.1. Динамика объема ввода в действие жилых домов в России за 2019–2024 г., тыс. м^2
Fig.1. Dynamics of the volume of commissioning of residential buildings in the Russia for 2019–2024, thousand m^2

За период с 2019 по 2024 г. по объему ввода наблюдается постоянное лидерство трех федеральных округов – Центрального, Приволжского и Южного. В 2024 г. их доля в общем объеме составила 28,1, 18,8 и 12,6 % соответственно.

На протяжении последних нескольких лет по округам сохраняются показатели ввода, представленные в табл. 2.

Регионами с наибольшим объемом ввода жилья в 2024 г. стали Московская область, Краснодарский край, г. Москва, Ленинградская область, Тюменская область, Республика Татарстан, Свердловская область, Республика Башкортостан, Ростовская область и Республика Дагестан. На эти субъекты приходится 23,2 % введенного в эксплуатацию жилья. Иркутская область в данном рейтинге заняла 20 место.

Текущее состояние рынка жилой недвижимости в Иркутской области эксперты оценивают как динамичное и перспективное, но с определенными проблемами. В основном сложности связаны с высокими ценами на квартиры и дома, низким качеством новостроек, вводимых в эксплуатацию, и медленными темпами реновации жилищного фонда [5].

[3]Ввод жилья в эксплуатацию // Дом РФ. Режим доступа: https://наш.дом.рф/аналитика/ввод_жилья/детали/таблица#error=login_required&state=efd4971e-1fb2-4b36-8a8a-4068f7030ef4 (дата обращения: 04.02.2025).

Таблица 2. Объем ввода жилья по федеральным округам за 2019–2024 гг., тыс. м^2
Table 2. Volume of housing commissioning in the federal districts for 2019–2024, thousand m^2

Субъект Российской Федерации	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Российская Федерация	82 042	82 185	92 560	102 713	110 438	107 766
Центральный	25 752	25 533	29 198	32 787	32 964	30 271
Северо-Западный	9448	9163	10 377	11 248	11 440	10 446
Южный	9920	10 701	11 999	13 761	14 593	13 553
Северо-Кавказский	4028	3996	4719	5970	7364	9063
Приволжский	16 190	15 775	17 404	18 541	20 158	20 256
Уральский	6730	6954	7673	8460	9436	9617
Сибирский	7438	7488	8075	8288	10 001	9879
Дальневосточный	2514	2555	3115	3567	4482	4681

В Иркутской области в 2024 г. было введено 1 605 тыс. м^2 жилья, что на 7,7 % больше, чем в прошлом году. Регион по округу занял второе место, уступив Новосибирской области. Общая площадь введенных многоквартирных домов составила 405 тыс. м^2., что на 15 % ниже предыдущего показателя (475 тыс. м^2).

Большую часть объема составляет строительство индивидуальных жилых домов – 1 200 тыс. м^2 (прирост 18 % к 2023 г.). Несмотря на рост индивидуального строительства, значимость многоквартирного жилого фонда и жилищного строительства не ослабевает [6].

По данным на 31 января 2025 г. в Иркутской области возводится 16 388 квартир общей площадью 819 тыс. м^2, из них 9 561 – однокомнатные квартиры.

В Иркутской области работает 40 застройщиков, абсолютным лидером является «Новый город» (жилой комплекс «Авиатор»). Доля рынка по площади данной компании составляет 12,4 %. Крупными застройщиками также являются такие компании, как «ПарапетСтрой», «ДомСтрой», «Альфа», «Гордо Девелопмент» и др[4].

Несмотря на рост жилищного строительства и высокие показатели, существуют и негативные факторы, сдерживающие развитие отрасли.

Экономическая ситуация сильно влияет на состояние сферы строительства и дальнейшие действия как государства, так и участников рынка, к которым относятся застройщики, подрядные организации, покупатели и др. Уровень инфляции в России остается на высоком уровне. В 2024 г. значения инфляции оставались повышенными и колебались в пределах от 7,45 до 9,52 %. Для борьбы с инфляцией Центральный банк в 2024 г. повысил ключевую ставку с 16 годовых до 21 %, которая уже с ноября 2024 г. остается на прежнем уровне. Изменение ключевой ставки Центрального банка оказывает значительное влияние на отрасль жилищного строительства, она служит ориентиром для процентных ставок по ипотечным кредитам и финансированию проектов [7].

Повышение ключевой ставки повлекло за собой увеличение банками ставок по кредитам, в том числе и жилищным. Средняя кредитная ставка по России составляет около 29 % годовых. Спрос на жилье зависит от уровня потребности в нем населения, реальных доходов и покупательской способности населения. Но особую роль играет доступность ипотечного кредитования [8].

Жесткая денежно-кредитная политика повлияла на доступность ипотеки для населения, снизив ее, о чем свидетельствуют показатели выдачи кредитов. В результате за 2024 г. было выдано 1,3 млн ипотечных жилищных кредитов на сумму 4,9 трлн руб. Данные показатели почти в 1,6 раз меньше, чем годом ранее. На рис. 2 и 3 представлены данные о количестве и объеме предоставленных кредитов за период с 2023 по 2024 г[5].

Чем выше ключевая ставка Центрального банка, тем выше становятся цены на недвижимость, при этом даже резкое понижение ключевой ставки не приведет к существенному и резкому понижению среднерыночной стоимости недвижимости. Это обусловлено спецификой

[4]Ввод жилья в эксплуатацию. Дом РФ. Режим доступа: https://наш.дом.рф/аналитика/ввод_жилья/детали/таблица#error=login_required&state=efd4971e-1fb2-4b36-8a8a-4068f7030ef4 (дата обращения: 04.02.2025).
[5]Информационный бюллетень «Сведения о рынке ипотечного жилищного кредитования в России». Режим доступа: https://cbr.ru/statistics/bank_sector/mortgage/mortgage_lending_market/ (дата обращения: 04.02.2025).

данного рынка, его инертностью [9].

За 2024 г. наибольшее количество кредитов банки предоставили в июне – 202 тыс. на сумму 788,5 млрд руб. Это было вызвано отменой льготной поддержки и ужесточением условий семейной ипотеки. Наименьшее количество кредитов выдано в ноябре (72 315 тыс.), объем составил 274 млрд руб.



Рис. 2. Количество предоставленных ипотечных жилищных кредитов за 2023–2024 гг., ед.
Fig. 2. The number of housing mortgage loans granted in 2023–2024, units



Рис. 3. Объем предоставленных ипотечных жилищных кредитов за 2023–2024 гг., млн руб.
Fig. 3. The volume of mortgage housing loans granted in 2023–2024, million rubles

В целом, ипотека является важным звеном в рамках взаимоотношений между застройщиками и покупателями, так как основная часть жилья приобретается именно при помощи ипотечного кредитования [10].

Эффективность льготных программ напрямую влияет на застройщиков и жилищный рынок [11].

1 июля 2024 г. массовая льготная ипотека с государственной поддержкой была завершена, а количество заемщиков, подходящих под условия оставшихся программ (семейная и IT-ипотека), уменьшилось. Спрос на рынке жилищного строительства сократился, так как общая доля квартир, приобретаемых по программам господдержки, в составе от всего объема

занимала около 70 %.

Кроме того, на жилищное строительство также оказывают влияние изменения в законодательстве. С 1 июля 2019 г. все застройщики осуществили переход на проектное финансирование с использованием эскроу-счетов [12, 13]. В результате внесения поправок в Федеральный закон от 30 декабря 2004 № 214-ФЗ «Об участии в долевом строительстве многоквартирных домов и иных объектов недвижимости и о внесении изменений в некоторые законодательные акты Российской Федерации» застройщики не могут напрямую распоряжаться средствами дольщиков до момента ввода объекта строительства в эксплуатацию. Главной идеей механизма проектного финансирования в жилищном строительстве является идея контроля денежных средств, в том числе и целевого использования [14]. Использование проектного финансирования повлияло на повышение стоимости квартир, так как застройщики теперь вынуждены использовать кредитные средства. С повышением ключевой ставки растет долговая нагрузка застройщиков. Для оценки рисков, экспертизы жилых проектов, а также контроля над их реализацией застройщикам смогут помочь новые BIM-технологии [15]. С 1 июля 2024 г. застройщики и подрядные организации должны использовать технологии информационного моделирования на этапе проектирования. Внедрение данного процесса в строительной организации – задача, требующая вложения средств, выбора грамотной стратегии и квалифицированных специалистов. Применение информационных технологий моделирования позволит сократить затраты, увеличить результативность эксплуатацию сооружения или здания [16]. Экономическая ситуация на строительном рынке в мире и изменения в законодательстве влияют на стоимость квадратного метра жилья. По данным финансового института развития в жилищной сфере «ДОМ.РФ» номинальные цены на первичное жилье в 2021 г. выросли на 26 %, в 2022 г. – на 21 %, в 2023 г. – на 10 %. На рынке вторичного жилья цены выросли на 10, 17 и 12 % соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На рынке жилищного строительства сложилась ситуация, в которой некоторое время будет сохраняться пониженный спрос на покупку недвижимости вследствие высоких кредитных ставок. Застройщики, кроме задачи поддержания продаж на оптимальном уровне, будут пересматривать свои новые проекты в пользу снижения площадей жилья, увеличивая количество квартир-студий и однокомнатных квартир. Вместе с этим растут и риски снижения запуска новых проектов и объемов ввода жилья в последующие годы. Для поддержки жилищной отрасли используются следующие меры. Продолжают свое действие льготные программы: семейная ипотека, IT-ипотека, Дальневосточная, Арктическая, сельская и военная ипотеки. Заемщики, подходящие под условия, могут воспользоваться одной из них. Для увеличения категорий населения, которые могут воспользоваться льготами, можно запустить новые адресные программы поддержки, например, для молодых специалистов и работников отдельных отраслей экономики. На замену льготной ипотеки может прийти рассрочка. На данный момент она не регулируется законодательно и может быть использована только до сдачи объекта в эксплуатацию. В 2024 г. количество заключенных сделок без использования ипотечного кредитования составило 33 тыс. Доля рассрочек на рынке растет, возникает необходимость в снижении рисков как у покупателей, так и у застройщиков. В этом может помочь разработка государством стандарта регулирования рассрочки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кузьмич Н.П., Бурчик В.В. Современное состояние и направления развития городского жилищного строительства // Modern Economy Success. 2023. № 2. С. 141–144. EDN: OYXFRZ.
2. Тимофеева Е.Е. Проблемы жилищного строительства в контексте устойчивого развития урбанизированных регионов // Наукоград: наука, производство, общество. 2023. № 4-1. С. 6–8. EDN: SAEHYD.
3. Карапетян А.Р. Роль жилищного строительства в социально-экономическом развитии РФ: анализ тенденций // Экономика строительства. 2023. № 10. С. 45–50. EDN: COGIYQ.
4. Киселева Е.Н. Социально-экономические проблемы развития жилищного строительства // Исторические, философские, методологические проблемы современной науки. Сб. статей 5-й Междунар. науч. конф. молодых ученых (г. Курск, 22 мая 2022 г.). Курск, 2022. С. 368–372. EDN: YWMCPO.
5. Бедин Б.М., Рослякова В.А. Оценка и перспективы развития рынка жилой недвижимости Иркутской области // Проблемы экономики и управления строительством в условиях экологически ориентированного развития. Материалы X Междунар. науч.-практ. онлайн-конференции (г. Иркутск, Братск, Томск, 26–27 апреля 2023 г.). Иркутск, 2023. С. 94–98. EDN: PVSIJP.
6. Belkina T.D. New Instruments of Housing Construction Financing in The Russian Federation: First Results

and Prospects // Real Estate: Economics, Management. 2022. Vol. 1. P. 19–22. https://doi.org/10.22337/2073-8412-2022-1-19-22. EDN: YNBQKW.
7. Охезина К.Ю. Влияние изменения ключевой ставки на проектное финансирование в отрасли жилищного строительства // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2024. № 8-2. С. 310–313. https://doi.org/10.17513/vaael.3660. EDN: KEKIRQ.
8. Гаспарян А.Г., Шайхутдинова Г.Ф. Роль ипотечного кредитования на рынке жилищного строительства // Вестник БИСТ (Башкирского института социальных технологий). 2020. № 4 (49). С. 42–47. https://doi.org/10.47598/2078-9025-2020-4-49-42-47. EDN: PTCQVQ.
9. Овсянкина Е.Д. Влияние ключевой ставки банка России на состояние недвижимости в стране // Вектор экономики. 2021. № 11 (65). С. 1–6. EDN: NGBOAO.
10. Федоров В.А., Яшина Н.И. Оценка программы льготной ипотеки в рамках развития ресурсного обеспечения застройщиков посредством проектного финансирования // Russian Economic Bulletin. 2024. Т. 7. № 5. С. 279–284. https://doi.org/10.58224/2658-5286-2024-7-5-279-284. EDN: DFDDII.
11. Гончарова Н.Ю., Святик М.В., Яутре Е., Федорченко М.А. Проблемы и перспективы реализации программы льготной ипотеки // Управление проектами: стратегии эффективного финансирования. Материалы студенческого круглого стола в рамках XIV Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 117-летию РЭУ им. Г.В. Плеханова (г. Москва, 12 апреля 2024 г.). М., 2024. С. 125–130. EDN: LCQWLE.
12. Авагян Г.Л. Проектное финансирование жилищного строительства: проблемные вопросы национального и регионального рынков // Вестник Академии знаний. 2024. № 1 (60). С. 377–386. EDN: DCYYKW.
13. Пухова В.В., Кашина Е.В., Саенко И.А., Крелина Е.В. Анализ и оценка источников финансирования жилищного строительства (на примере Красноярского края) // Глобальный научный потенциал. 2021. № 10 (127). С. 240–245. EDN: OJCWSL.
14. Бодиенкова В.С. Роль проектного финансирования в жилищном строительстве // Administrative Consulting. 2021. Т. 7. № 1. С. 14–20. EDN: OYGFBU.
15. Синявская В.В. Технологии информационного моделирования в жилищном строительстве // Аллея науки. 2021. Т. 1. № 8. С. 420–425. EDN: SNZRXB.
16. Ревин Д.А., Шеверева Е.А. Проблемы и перспективы развития строительной отрасли // Хроники цифровых трансформаций. Сб. научных трудов по материалам круглых столов, стратегических и форсайт-сессий, панельных дискуссий, посвященных решению практических задач (г. Москва, 16–17 марта 2023 г.). М., 2024. С. 115–119. EDN: ZPUJFJ.

REFERENCES

1. Kuzmich N.P., Burchik V.V. The Current State and Directions of Development of Urban Housing Construction. *Modern Economy Success*. 2023;2:141-144. (In Russ.). EDN: OYXFRZ.
2. Timofeeva E.E. Problems of Housing Construction in The Context of Sustainable Development of Urbanized Regions. *Science City: Science, Production, Society.* 2023;4-1:6-8. (In Russ.). EDN: SAEHYD.
3. Karapetyan A.R. The Role of Housing Construction in The Socio-Economic Development of Russia: Analyzing Trends. *Construction Economy.* 2023;10:45-50. (In Russ.). EDN: COGIYQ.
4. Kiseleva E.N. Socio-Economic Problems of Housing Construction Development. In: *Istoricheskie, filosofskie, metodologicheskie problemy sovremennoi nauki. Sbornik statei 5-i Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii molodykh uchenykh = Historical, Philosophical, Methodological Problems of Modern Science. Collection of Articles of The 5th International Scientific Conference of Young Scientists*. 22 May 2022, Kursk. Kursk; 2022. p. 368–372. (In Russ.). EDN: YWMCPO.
5. Bedin B.M., Roslyakova V.A. Assessment and Development Prospects of the Residential Real Estate Market in The Irkutsk Region. In: *Problemy ekonomiki i upravleniya stroitel'stvom v usloviyakh ekologicheski orientirovannogo razvitiya. Materialy X Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi onlain-konferentsii = Problems of Economics and Construction Management in The Context of Ecologically Oriented Development. Proceedings of The X International Scientific and Practical Online Conference.* 26–27 April 2023, Irkutsk, Bratsk, Tomsk. Irkutsk; 2023. p. 94–98. (In Russ.). EDN: PVSIJP.
6. Belkina T.D. New Instruments of Housing Construction Financing in The Russian Federation: First Results and Prospects. *Real Estate: Economics, Management.* 2022;1:19-22. https://doi.org/10.22337/2073-8412-2022-1-19-22. EDN: YNBQKW.
7. Ohezina K.Yu. Impact of Changes in The Key Rate On Project Financing in The Housing Construction Industry. *Vestnik Altaiskoi akademii ekonomiki i prava.* 2024;8-2:310-313. (In Russ.). https://doi.org/10.17513/vaael.3660. EDN: KEKIRQ.
8. Gasparyan A.G., Shaikhutdinova G.F. The Role of Mortgage Lending in the Housing Construction Market. *Vestnik BIST (Bashkir Institute of Social Technologies).* 2020;4(49):42-47. (In Russ.). https://doi.org/10.47598/2078-9025-2020-4-49-42-47. EDN: PTCQVQ.
9. Ovsyankina E.D. The Impact of the Bank of Russia's Key Rate On the State of Real Estate in The Country.

Vektor ekonomiki. 2021;11(65):1-6. (In Russ.). EDN: NGBOAO.
10. Fedorov V.A., Yasina N.I. Evaluation of The Preferential Mortgage Program as Part of the Development of Resource Provision for Developers Through Project Financing. *Russian Economic Bulletin.* 2024;7(5):279-284. (In Russ.). https://doi.org/10.58224/2658-5286-2024-7-5-279-284. EDN: DFDDII.
11. Goncharova N.Y., Svyatik M.V., Yautre E., Fedorchenko M.A. Problems and Prospects of Implementation-preferential Mortgage Program. In: *Upravlenie proektami: strategii effektivnogo finansirovaniya. Materialy studencheskogo kruglogo stola v ramkakh XIV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 117-letiyu REU im. G.V. Plekhanova = Project Management: Strategies for Effective Financing. Proceedings of The Student Round Table Within the Framework of The XIV International Scientific and Practical Conference Dedicated to The 117th Anniversary of The Plekhanov Russian University of Economics.* 12 April 2024, Moscow. Moscow; 2024. p. 125–130. (In Russ.). EDN: LCQWLE.
12. Avagyan G.L. Project Financing of Housing Construction: Problematic Issues of National and Regional Markets. *Bulletin of the Academy of Knowledge.* 2024;1(60):377-386. (In Russ.). EDN: DCYYKW.
13. Pukhova V.V., Kashina E.V., Saenko I.A., Krelin E.V. Analysis and Evaluation of Financing Sources for Housing Construction (In The Krasnoyarsk Territory). *Global Scientific Potential*. 2021;10(127):240-245. (In Russ.). EDN: OJCWSL.
14. Bodienkova V.S. The Role of Project Financing in Housing Construction. *Administrative Consulting.* 2021;7(1):14-20. (In Russ.). EDN: OYGFBU.
15. Sinyavskaya V.V. Information Modeling Technologies in Housing Construction. *Alleya nauki.* 2021;1(8):420-425. (In Russ.). EDN: SNZRXB.
16. Revin D.A., Shevereva E.A. Problems and Prospects for Development of the Construction Industry. In: *Khroniki tsifrovykh transformatsii. Sbornik nauchnykh trudov po materialam kruglykh stolov, strategicheskikh i forsait-sessii, panel'nykh diskussii, posvyashchennykh resheniyu prakticheskikh zadach = Chronicles of Digital Transformations. Collection of Scientific Papers Based On Materials of Round Tables, Strategic and Foresight Sessions, Panel Discussions Devoted to Solving Practical Problems.* 16–17 March 2023, Moscow. Moscow; 2024. p. 115–119. (In Russ.). EDN: ZPUJFJ.

Информация об авторах

Абмаева Екатерина Матвеевна,
инженер,
ООО «Байкальская инжиниринговая компания»,
664007, г. Иркутск, ул. Ямская, д. 4,
помещение 31, Россия,
✉e-mail: emabmaeva@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0000-4374-8965
Author ID: 1281619

Добышева Татьяна Васильевна,
к.э.н., доцент кафедры экспертизы и управления недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: dobishevatv@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-9964-8963
Author ID: 312876

Ямщикова Ирина Валентиновна,
к.э.н., доцент кафедры экспертизы и управления недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: yamsirina@yandex.ru
http://orcid.org/0000-0002-6183-3255
Author ID: 50517516

Information about the authors

Ekaterina M. Abmaeva,
Engineer,
Baikal Engineering Company LLC,
4 Yamskaya St., Room 31, Irkutsk 664007,
Russia,
✉e-mail: emabmaeva@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0000-4374-8965
Author ID: 1281619

Tatyana V. Dobysheva,
Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor
of the Department of Real Estate Expertise
and Management,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: dobishevatv@mail.ru
http://orcid.org/0000-0001-9964-8963
Author ID: 312876

Irina V. Yamshchikova,
Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor
of the Department of Real Estate Expertise
and Management,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: yamsirina@yandex.ru
http://orcid.org/0000-0002-6183-3255
Author ID: 50517516

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.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 28.03.2025.
Одобрена после рецензирования 17.04.2025.
Принята к публикации 21.04.2025.

Information about the article

The article was submitted 28.03.2025.
Approved after reviewing 17.04.2025.
Accepted for publication 21.04.2025.

Научная статья
УДК 330
EDN: PAXHOK
DOI: 10.21285/2227-2917-2025-2-201-212

Перезагрузка строительного рынка в условиях нарастания противоречий инвестиционно-строительной деятельности

Л.И. Зайцева[1]✉, В.А. Сивяков[2]
[1,2]Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Москва, Россия

Аннотация. Исходной посылкой выявления основных тенденций развития строительного рынка является декомпозиция видов строительной продукции. Ее оборот обеспечивается нормами и правилами функционирования рыночных механизмов. Их основная задача не допустить конфликта экономических интересов участников инвестиционно-строительной деятельности и обеспечить условия для бесконфликтного строительства применительно ко всем видам объектов капитального строительства. Статистический анализ строительных споров позволяет подсветить не только методы их разрешения, но и проблему их предупреждения, то есть задействовать превентивные механизмы урегулирования противоречий экономических интересов участников инвестиционно-строительной деятельности. Обсуждение проблемы и методического инструментария ее решения позволило выявить ряд хронических противоречий современного рыночного оборота строительной продукции, а также установить основные меры обеспечения безопасности строительного рынка, устойчивости рыночных механизмов, жизнеспособности рыночных конструкций, обеспечения социального равновесия, структуры инклюзивных правил хозяйствования и др. Практика многочисленных судейских разбирательств показала, что медиативный консалтинг участников рыночного оборота недвижимости на всех этапах ее жизненного цикла должен быть институционально закреплен в кратчайшие сроки. В этом случае могут быть устранены непроизводственные потери времени, высвобождена синергия реализации инвестиционно-строительных циклов и ликвидированы условия возникновения незавершенного строительства.

Ключевые слова: цели развития, стратегическая фокусировка, строительная продукция, строительный рынок, экспертиза

***Для цитирования*:** Зайцева Л.И., Сивяков В.А. Перезагрузка строительного рынка в условиях нарастания противоречий инвестиционно-строительной деятельности // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 2. С. 201–212. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-201-212. EDN: PAXHOK.

Original article

Rebooting the construction market in the context of increasing contradictions in investment and construction activities

Larisa I. Zaitseva[1]✉, Vyacheslav A. Sivyakov[2]
[1,2]Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia

Abstract. The initial premise of identifying the main trends in the development of the construction market is the decomposition of types of construction products. Its turnover is ensured by the norms and rules of functioning of market mechanisms. Their main task is to prevent a conflict of economic interests between participants in investment and construction activities and to ensure conditions for conflict-free construction in relation to all types of capital construction facilities. Statistical analysis of construction disputes makes it possible to highlight not only the methods of their resolution, but also the problem of their prevention, that is, to use preventive mechanisms to resolve contradictions in the economic interests of participants in investment and construction activities. The discussion of the problem and methodological

© Зайцева Л.И., Сивяков В.А., 2025

tools for its solution made it possible to identify a number of chronic contradictions in the modern market turnover of construction products, as well as to establish basic measures to ensure the safety of the construction market, the stability of market mechanisms, the viability of market structures, ensuring social balance, the structure of inclusive business rules, etc. The practice of numerous judicial proceedings has shown that mediation consulting of participants in the real estate market at all stages of its life cycle should be institutionalized as soon as possible. In this case, non-production time losses can be eliminated, the synergy of the implementation of investment and construction cycles can be released, and the conditions for the occurrence of unfinished construction can be eliminated.

Keywords: development goals, strategic focus, construction products, construction market, expertise

For citation: Zaitseva L.I., Sivyakov V.A. Rebooting the construction market in the context of increasing contradictions in investment and construction activities. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2025;15(2):201-212. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-201-212. EDN: PAXHOK.

ВВЕДЕНИЕ

Дискуссии последних лет в отношении реализации геостратегических преимуществ России позволили сформировать основной целевой приоритет развития страны. Он сформулирован в основных стратегических документах, послании Президента РФ Федеральному Собранию, отражен в отраслевых и корпоративных стратегиях развития. Безальтернативна цель достижения роста продолжительности активной жизни, позволяющая последовательно увеличивать долю работающих. В этом стратегический блок развития страны усматривает базу для обеспечения территориально-экономической стабильности, необходимой для переосвоения территорий страны, упорядочения расселения и расширенного воспроизводства человеческого капитала [1, 2]. Поставленные цели достигаются комплексными мерами, но едва ли не главным становится ускорение инвестиционно-строительных процессов, требующее перезагрузки правил инвестиционно-строительной деятельности. Они должны создавать условия бесконфликтного строительства. Ликвидация основных противоречий рыночного оборота строительной продукции, создание действенного инструментария пространственно-территориального девелопмента, охват всех типов объектов капитального строительства, запрет на воспроизводство отсталости, сохранение объектов исторического наследия, стандартизация процессов формирования среды жизнедеятельности, превентивные механизмы купирования противоречий развития должны противостоять возникновению депрессивных районов и депопуляции территорий страны. Такая постановка задачи изменяет стратегическую фокусировку рыночных механизмов, особенно на стартовых фазах формирования программ освоения и реструктуризации территорий страны, создания условий устойчивого развития и снижения уровня конфликтности бизнес-процессов строительной деятельности. Это потребует переосмысления целей и функционала экспертизы строительных проектов, что позволит задействовать превентивные механизмы купирования противоречий осуществления инвестиционно-строительной деятельности.

МЕТОДЫ

В целях выявления формирующихся тенденций развития строительного рынка необходимо структурировать строительную продукцию. Она выступает в форме объектов капитального строительства (ОКС) как основного товара, оборот которого происходит в форме рыночных отношений. Учитывая, что эти отношения носят товарно-денежный характер договорного типа, взаимодействие субъектов строительного рынка строится на основе взаимной выгоды и ответственности. Субъектами рыночных отношений являются заказчики, граждане, застройщики, подрядные организации всех видов, предприятия стройиндустрии, производители оборудования, лизинговые компании, банки, инвестиционные фонды, институты развития, органы власти, общественные организации, профессиональные объединения и др. Даже их простое перечисление позволяет судить о разнообразии экономических интересов. Будучи вовлеченными в инвестиционно-строительные процессы со свойственным им высоким уровнем риска возникновение противоречий экономических интересов в процессе их практической реализации неизбежно. Относительно источников развития рыночных отношений классическая наука [3–5] сначала выдвинула гипотезу о противоречиях экономических интересов как источнике развития.

В течение почти двух столетий практика подтвердила тезис о разрешении противоречий как источнике изменений, формирующих основные тенденции и направления развития. В то же

время, экономические интересы субъектов строительного рынка касаются оборота различных типов строительной продукции. При этом, ОКС могут находиться на различных стадиях жизненного цикла и в целом отличаться по форме и месту локализации в пространстве жизнедеятельности, являясь объектами пространственно-территориального девелопмента [6].

Насыщая пространство объектами капитального строительства, развитие территорий подчиняется национальным целям и приоритетам, которые учитывают геополитическую обстановку. Систематизация задач развития исходит из основной цели развития страны – сбережения народа.

В экономическом контексте это означает расширенное воспроизводство человеческого капитала, использующего геостратегические (пространство, ресурсы, научно-технические и производственные заделы) преимущества страны.

В условиях фронтального характера востребованных трансформаций в контексте современного развития стратегический фокус концентрируется на ускорении инвестиционно-строительных циклов [6].

Это требует использования методов управления временем в условиях динамично реструктурируемого пространства.

Управление временем преследует цель ускорить востребованные маневры, учитывающие вызовы развития.

Скорость рыночного оборота определяет трансформационные возможности экономики. Ряд проведенных исследований [7] позволяет выделить следующие виды маневров:

1. Территориальный маневр позволяет создавать новые точки роста, производственные мощности, транспортно-логистические пути, обеспечивая геополитическую переориентацию экономического ландшафта российской экономики.

2. Проектный. Его целевая фокусировка на решение задач импортозамещения призвана создавать новые и модернизировать функционирующие производственные мощности.

3. Субъектный направлен на замещение покинувших российский рынок западные компании отечественными.

4. Ресурсный направлен на использование альтернативных источников ресурсного обеспечения, а также инновационное замещение востребованных ресурсов.

Задача определения скорости территориального маневра сводится к недопущению ущерба экологии при соответствии требованиям соблюдения региональных интересов.

Также учитывается время развертывания производственных мощностей и социальная инфраструктура.

Целевая функция минимизации времени в контексте осуществления пространственно-территориального девелопмента ($Ti \rightarrow min$) обеспечивается оптимизацией ресурсозатрат ($\sum З_i^j \rightarrow опт$). Заданные экологические и социальные ограничения должны быть соблюдены. Финальные цели инвестиционно-строительной деятельности связаны с ускорением ввода в действие ОКС.

Современные подходы к исследованию скоростных характеристик рыночного оборота учитывают жизненный цикл вводимых в действие объектов. Как показывает практика период эксплуатации в современных условиях характеризуется двумя прямо противоположными тенденциями [8–10]. Сроки службы стандартной недвижимости сокращаются.

Для объектов исторического наследия или приравненной к ним недвижимости максимизируются. Требуются новые проектные решения [7, 11]. Как указывают авторы монографии «Комплексный подход к формированию качественной конкурентоспособной городской среды»: «…чем дольше эксплуатируется недвижимость ($Т^э_{оин}$), тем выше обновляющие затраты ($З^j_o$), осуществляемые для минимизации поддерживающих/эксплуатационных затрат ($З^i_n$).

При этом, $З^j_o$, следуя логике рыночного оборота, должны оптимизироваться. Таким образом, $Т^э_{оин} \rightarrow max$ при условии $З^j_o \rightarrow З^{jопт}_o$ с целью $З^i_n \rightarrow min$».

Применительно к объектам, находящихся на капитальном ремонте или подлежащих модернизации (это касается и объектов незавершенного строительства), цель заключается в ускорении ввода в действие и включения их в хозяйственный оборот.

В отношении ликвидируемых объектов капитального строительства отметим, что для купирования негативных последствий необходимо использовать все возможности современных технологий, не наносящих ущерб окружающей среде, а также организовать вторичный оборот и утилизацию отходов [12].

Подразделение ОКС на три типа (по стадиям жизненного цикла проекта) позволяет корректно поставить и решить задачу ускорения инвестиционно-строительных процессов. Как отмечает автор [13]: «…новые ритмы по видам объектов недвижимости должны быть синхронизированы с помощью дополнительного ресурсного обеспечения во всем его многообразии, а также за счет замещающих ресурсов улучшенного качества».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.

Масштаб необходимых перемен, ограниченность ресурсов, в том числе трудовых, вынуждает управляющую подсистему искать скоростной и экономически эффективный выход. Дискуссионные площадки форумов, конференций, иммерсивных сессий и др. свидетельствуют о формирующихся диалоговых режимах власти, бизнеса, общественных организаций и граждан, о системно расширяющихся возможностях информационного моделирования и в целом цифровизации и о синтезе возможных источников финансирования, о допустимых границах корректировок стратегических целей и др.

По мнению экспертного сообщества [14, 15], в условиях быстрой сменяемости ценностей и, соответственно, приоритетов развития, задающих стратегический фокус объектной реструктуризации строительного рынка, объемы ликвидируемой недвижимости будут интенсивно пополняться как за счет замороженных и аварийных ОКС, так и за счет объектов в зоне проведения СВО. При этом будем иметь в виду, что во всех случаях безусловным приоритетом решения задач развития строительного рынка на основе программ и проектов развития территорий становятся меры обеспечения:

– безрискового функционирования строительного рынка;

– эффективности рыночных механизмов оборота строительной продукции;

– жизнеспособности формируемых рыночных конструкций;

– социального равновесия.

Сюда также входят прозрачные и инклюзивные правила хозяйствования, установленные в диалоговом режиме всеми участниками развития с учетом национальных ценностей и традиций делового оборота.

Ускорение территориального, проектного, субъектного и ресурсного маневров должно отвечать стратегической цели обеспечения территориальной связанности, невозможной без сбалансированного расселения и концентрации трудовых ресурсов в точках, локациях и коридорах роста экономики.

Следовательно, расширенное воспроизводство недвижимости в проектном формате модифицируется в плоскость ускоренного пространственного переосвоения страны, которое становится стратегическим вектором ее развития. «Востребованными становятся с одной стороны институты, противостоящие угрозам мегаполисного расселения, с другой институты развития территорий, снимающие барьеры интенсивного переселения в точки и коридоры экономического развития» [16].

Реализация целей переосвоения территорий невозможна без устранения патогенных зон, возникающих в процессах реализации инвестиционно-строительных проектов. Признаками такой зоны являются, с одной стороны, потенциал кумулятивного влияния на все последующие этапы жизненного цикла проекта [17]. На поверхности экономических явлений он выражается в показателях прямого ущерба (от срыва сроков строительства, удорожания сметы производства работ и ликвидации последствий ухудшения качества) и упущенной выгоды участников инвестиционно-строительной деятельности. С другой, предпринимаемые регулятором меры фактически не оказывают влияния на патогенные зоны инвестиционно-строительных процессов, призванных реализовывать проектные показатели. Предшествующий анализ показал, что принятый порядок формирования государственного строительного заказа, особенно на стартовой фазе, изобилует объективными противоречиями и требует существенных изменений так же, как бесконфликтное строительство.

Касательно кумулятивного накопления ущерба в патогенных зонах его предотвращение связывается авторами с созданием институтов превентивного купирования базовых противоречий. Типология угроз функционирования мегаполисов хорошо известна, к ним относятся:

1. Нарастающие техногенные угрозы. Чем масштабнее жилищное, коммунальное и дорожное строительство, тем опаснее последствия их приостановки или повреждения.

2. Эпидемиологические. Скученность проживания (в России население проживает в 7–10 раз плотнее, чем в Великобритании и Германии) объективно повышает опасность заражения.

3. Социальные, определяемые как нарастание противоречий интересов различных групп горожан.

4. Демографические. Этот тип угроз является следствием малогабаритных личных пространств, роста непроизводительных затрат времени.

5. Экономические, являющиеся результатом внутригородского расселения. Нарастает неравенство между городским центром, а также элитным пригородом и городскими окраинами.

Как отмечают исследователи [18] «…строительный рынок мегаполисов в рамках трех выделенных типов ОКС с одной стороны, позволит поддерживать безопасный режим функционирования жилищно-коммунальной, дорожно-транспортной и социальной инфраструктуры города, с другой по вновь строящимся объектам предусматривать их функциональную мобильность,

ремонтопригодность, экологичность и экономичность эксплуатационных режимов».

Развивая точку зрения авторов в отношении проектного маневра, необходимо внедрять новые конструктивные идеи в отношении обеспечения функциональной мобильности, оптимизации капитальных и эксплуатационных затрат, а также технологичности сноса объекта, утилизации отходов и рекультивации земельного участка.

Рыночные конструкции и инструменты должны не мешать обновлению города, не допуская возникновения депрессивных районов городских окраин и способствуя обоснованному рассредоточению горожан по городским районам и пригородам [19, 20]. Относительно воспроизводимых ОКС, главным вызовом становится «…запрет на воспроизводство отсталости» [21].

Это задача стоит очень остро перед институтом строительно-технической экспертизы. Он становится все в большей мере консультативным органом и должен активно осваивать функционал инфорсмента (принуждения) к импортозамещению строительных материалов, деталей, конструкций, техники на новой отечественной инновационной основе. В отношении объектов незавершенного строительства порядок вовлечения их в хозяйственный оборот только формируется[1].

Действующие институты развития пока не восприимчивы к этому типу объектов. Создание механизмов противостояния омертвлению капитала в форме недостроя становится первоочередной задачей развития строительного рынка [22].

Проведенное исследование дискуссионных ракурсов свидетельствует также о необходимости дополнения рыночных механизмов, сегментированных по типам ОКС, механизмами согласования экономических интересов и урегулирования возникающих в процессе инвестиционно-строительной деятельности противоречий [23]. Выявленная развертка задач адаптации строительного рынка к санкциям приведена на рисунке.

Отметим, что, следуя необходимости фронтальной реструктуризации пространства жизнедеятельности при условии нарастания санкций, критически важным становиться сокращение времени инвестиционно-строительных циклов. Управление временем в этих условиях предлагается осуществлять методом устранения барьеров реализации инвестиционно-строительных процессов. В этом отношении укажем два основных пути:

1. Использование новых технологий строительства, восстановления и сноса ОКС (по типам продукции рыночного оборота).

2. Развитие диалоговых режимов с использованием внесудебных методов разрешения споров.

Такой методический подход призван сформировать условия для достижения консенсуса экономических интересов, в том числе по внедрению инноваций и бесконфликтного функционирования строительного рынка [24, 25]. Опрос участников круглого стола кафедры инвестиционно-строительного бизнеса и управления недвижимостью РАНХиГС 18 сентября 2023 г. показал, что в стратегической перспективе инновационные преобразования играют ключевую роль как в обеспечении экономического суверенитета страны, так и в поддержке перехода к новому технологическому укладу [26, 27]. В то же время нивелирование рисков неэффективного управления, нарушения договорных условий, сбоев логистики поставок, природных катаклизмов и др. требует оперативных взаимосогласованных действий, не допускающих возникновения конфликтов и способствующих урегулированию разногласий в оперативном режиме времени.

Специальные исследования фактических потерь времени на судебные разбирательства в инвестиционно-строительной сфере до настоящего времени пока не проводились. Но по мнению участников круглого стола профессиональное урегулирование возникающих конфликтов позволяет ликвидировать 2/3 непроизводственных потерь времени по осуществлению инвестиционно-строительной деятельности. 90 % опрошенных руководителей среднего звена из группы субподрядных организаций высказали мнение, что если в составе генподрядной организации/застройщика была бы компетентная поддержка урегулирования споров с соблюдением паритета экономических интересов, ускорение в решении технических вопросов сократило время проведения работ не менее чем на 10 %. Ввиду особенностей функционирования судебной системы сроки разрешения хозяйственных споров между субъектами строительного рынка колеблются от 10 месяцев до 2,5 лет.

Это связано со значительным количеством комплексной технической документации, которая подлежит детальному исследованию и

[1]Заседание Экспертного совета при Комитете Госдумы по вопросу незавершенных объектов. Режим доступа: https://www.minstroyrf.gov.ru/press/yuriy-gordeev-prinyal-uchastie-v-zasedanii-ekspertnogo-soveta-pri-komitete-gosdumy-po-voprosu-nezave (дата обращения: 19.05.2023).

оценке со стороны суда, а также со спецификой спорящих сторон. Особенно большая продолжительность характерна для рассмотрения дел, в рамках которых назначается строительно-техническая, оценочная и финансово-экономическая экспертиза. Отметим, что результатом судебных разбирательств становится процедура банкротства.



Развертка задач развития строительного рынка. Авторы Л.И. Зайцева, В.А. Сивяков
The development of the tasks of the construction market. Authors L.I. Zaitseva, V.A. Sivyakov

По данным Судебного Департамента при Верховном Суде Российской Федерации в 2022 г. инициировано банкротство 91 застройщика (то есть юридических лиц или индивидуальных предпринимателей, к которым имеются требования о передаче жилых помещений или особого рода денежные требования), в отношении 47 принято решение о признании должника банкротом и введении конкурсного производства (с учетом того, что всего в России в настоящее время функционируют 396 застройщиков). Официальные статистические данные не охватывают случаи банкротства строительных компаний, не являющихся застройщиками. Напомним, что всего в 2022 г. признаны несостоятельными 5865 юридических лиц. Сложившуюся практику не удалось переломить и в 2023 г. Более 6 тыс. юридических лиц были признаны несостоятельными.

По мнению ряда экспертов, треть из них имеют отношение непосредственно к строительному бизнесу. Если в ряде зарубежных государств процедуры банкротства нацелены на реструктуризацию задолженности, оздоровление и в целом реабилитацию, то в реалиях отечественного регулирования полноценное продолжение деятельности компаний (несмотря на наличие производственных мощностей) возможно в исключительных случаях [28–30].

Более того, стабилизации и развитию строительного рынка присущи объективные противоречия партнерского взаимодействия участников [31]. Это связано с несопоставимостью рисков производственно-хозяйственной деятельности различных субъектов рыночного оборота, неравным положением и поражением прав при взаимодействии с органами власти, слабостью, неэффективностью и половинчатостью мер стимулирования нового пространственного расселения и др[2] [32].

Существенным барьером является устаревшее законодательное регулирование, которое не учитывает новые форматы реализации инвестиционно-строительных проектов.

Попытки внедрения и адаптации лучших зарубежных практик носят фрагментарный характер и не оказывают существенное влияние на формирование конструктивной сотрудническо-ой модели, нацеленной как на основных (ключевых) участников проекта, так и на административное звено в лице уполномоченных органов.

Несмотря на принимаемые меры не удается снизить степень конфликтности в строительной отрасли, за исключением отдельных административных барьеров (например, использование клиентоориентированного подхода, разработанного в рамках деятельности Федерального автономного учреждения «Главгосэкспертиза России», нацеленного на более прямое и гибкое взаимодействие на стартовой фазе реализации проектов с государственным участием).

Особенно остро данная составляющая проявляется в договорных отношениях – кабальные условия, несоответствие формы договора содержанию отношений, отсутствие этапа согласования условий контракта, неравномерное распределение ответственности и, что самое главное, отсутствие конструктивных подходов к разрешению споров[3].

Анализ показал, что сформированный в настоящее время инструментарий пространственно-территориального девелопмента разнообразен, но и зачастую противоречив. Частные и государственные инвесторы действуют по разным правилам и с различной эффективностью. Во всех случаях крайне уязвимой остается система планирования. Это выражается в следующем:

1. Прогнозирование показателей по потребности и расходу строительных ресурсов имеет низкую точность и обоснованность. Для государственных заказчиков проблемой является отсутствие достаточного количества ретроспективных данных, на основе которых можно бы было строить прогнозы. Более того, имеется жесткая система нормативно-правового регулирования, которая исключает применение разных экспериментальных данных. А имеющаяся база данных по нормам расхода ресурсов крайне слабо адаптируется под нужды планирования.

2. Частные инвесторы могут иметь достаточно достоверные данные для системы планирования, но это касается типового строительства, в первую очередь жилья. Если же проект имеет уникальный характер, а это может распространяться на различное инфраструктурное строительство, торгово-офисную недвижимость, объекты логистических систем, то инвестор (заказчик, застройщик) также теряет контроль над достоверностью планов.

3. Во всех случаях рисковые события возникают из-за высокой частоты прекращения

[2]Между властью и гражданином: институты общественного участия. Режим доступа: https://report2018.oprf.ru/ru/2.php (дата обращения: 19.05.2023).

[3]Взаимоисключающие условия в договорах. Режим доступа: https://www.npmaap.ru/docsarchiv/potchen.html (дата обращения: 19.05.2023).

деятельности различных поставщиков строительных ресурсов и прихода на рынок новых. Причина – санкции, банкротства, изменение приоритетов и др. Для государственных заказчиков это сказывается на невозможности соблюдения проектных решений (спецификации с указанием конкретных ресурсов) после прохождения государственной экспертизы и в процессе реализации строительства[4].

Особым обстоятельством является утвержденная сметная документация. Изменение строительных ресурсов и изменение их стоимости не влечет за собой автоматическую корректировку смет и стоимости работ по контракту.

Таким образом изменение в стоимости ресурсов при подборе аналогов является рисковым событием для всех участников строительства. Для частного инвестора эта проблема может не быть такой актуальной. Но непредвиденные корректировки бюджетов в процессе строительства все равно остаются неблагоприятным событием. Далее, в процессе строительства возникают иные ресурсные ограничения[5].

Достаточно противоречивым вопросом остается оплата труда. Уровень оплаты труда рабочих является одним из самых низких по отраслям, уступая таким видам как курьеры, таксисты, иные водители и другие категории работников с низкой квалификацией.

Предприятия, на первый взгляд, получают существенную экономию на привлечении трудовых ресурсов, с другой стороны, ограничены в кадрах и получают крайне низкую норму прибыли. Для исполнителей по государственным контрактам ситуация тут наиболее критичная.

В коммерческом секторе исполнители также не находятся в высоко прибыльной позиции. Таким образом, с учетом выделенного перечня противоречий, далеко не полного, отметим, что крайне слабо происходит анализ реализованных проектов, имеющихся проблем и недостатков, а также положительного опыта.

Такая ситуация не позволяет реализовывать системные меры, которые были бы направлены на непрерывное совершенствование различных бизнес-процессов строительной деятельности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показали результаты обсуждения поднятой темы, разнонаправленность воздействия тех или иных инструментов не позволяет удерживать стратегическую фокусировку востребованных мер.

Более того, практика показала, что институт экспертизы в сфере недвижимости и в строительстве требует существенной корректировки.

Это касается не только диффузии методов консалтинга в экспертную деятельность, но и востребованности новых видов экспертизы в частности пространственно-территориальной экспертизы обоснованности размещения ОКС по территории страны.

Необходимость этого вида экспертизы обусловлена потребностью целостного исследования целесообразности застройки в пообъектном разрезе. Таким образом, функционал экспертизы недвижимости в новых рыночных условиях приобретает следующую структуру:

– пространственно-территориальная экспертиза;
– экологическая экспертиза;
– эстетическая экспертиза;
– правовая экспертиза;
– строительно-техническая экспертиза;
– экономическая экспертиза;
– стоимостная экспертиза;
– физико-химическая экспертиза;
– судебная экспертиза;
– военно-техническая экспертиза (особенно при подготовке земельных участков к строительству после ведения боевых действий – разминирование и т. д.).

При этом, существенным признаком современного подхода к экспертизе недвижимости становится ее медиативность, характеризующая сращивание разносторонней непредвзятой оценки состояния ОКС с функционалом консалтинга сторон, связанным с урегулированием хозяйственных споров [33].

Практика многочисленных судейских разбирательств показала, что медиативный консалтинг участников рыночного оборота недвижимости на всех этапах ее жизненного цикла должен быть институционально закреплен в кратчайшие сроки [34].

В этом случае могут быть устранены непроизводственные потери времени, высвобождена синергия реализации инвестиционно-строительных циклов и ликвидированы условия возникновения незавершенного строительства.

Достижение стабильности и взаимосогласованности деятельности субъектов на всех

[4]Проектная документация без заключения экспертизы не представляет потребительской ценности для заказчика. Режим доступа: https://www.npmaap.ru/docsarchiv/potchen.html (дата обращения 19.05.2023).
[5]Комментарий к Градостроительному кодексу Российской Федерации от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ. Режим доступа: https://minstroy.kbr.ru/upload/medialibrary/67e/KOMMENTARI.pdf (дата обращения 17.05.2023).

этапах проектного цикла лежит в основе устойчивости и жизнеспособности строительного рынка как одного из решающих условий не только решения оперативно-тактических задач СВО, но и достижения стратегических социально-ориентированных приоритетов трансформации современного хозяйственного уклада России.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Черкесова Э.Ю., Турбанов В.В. Воспроизводство человеческого капитала и факторы, влияющие на процесс его формирования // Первый экономический журнал. 2024. № 6. С. 64–71. https://doi.org/10.58551/20728115_2024_6_64. EDN: BVWKWZ.
2. Почкин Е.О. Влияние ожидаемой продолжительности жизни на экономический рост // Финансовый бизнес. 2021. № 7. С. 79–81. EDN: QZPAQB.
3. Варнавская Д.С., Полякова А.С. Рынок и рыночные отношения // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. 2023. № 10. С. 45–48. EDN: PTVEQQ.
4. Ленин В.И. Империализм, как высшая стадия капитализма. М.: АСТ, 2021. 224 с.
5. Маркс К. Капитал / пер. с нем. С. Алексеев. М.: АСТ, 2010. 544 с.
6. Викторов М.Ю., Яськова Н.Ю. Стратегические ракурсы развития строительства: направления, трансформации, человеческий капитал // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 10–19. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-10-19. EDN: NIXNRT.
7. Алексеев С.А., Викторов М.Ю., Грабовый П.Г., Зайцева Л.И., Казанский Н.В., Каминский М.А. и др. Пространственная реструктуризация. Новые смыслы и правила инвестиционно-строительной деятельности. М.: Издательский дом «Дело», 2019. 454 с. EDN: KGWAKW.
8. Кочухова Е.С., Мартьянов В.С. Креативный город или право на город: альтернативы урбанистического развития в российском контексте // Антиномии. 2019. Т. 19. № 2. С. 45–66. https://doi.org/10.17506/aipl.2019.19.2.4566. EDN: VDBLZF.
9. Mozuriunaite S., Sabaityte J. To What Extent We Do Understand Smart Cities and Characteristics Influencing City Smartness // Journal of Architecture and Urbanism. 2021. Vol. 45. Iss. 1. P. 1–8. https://doi.org/10.3846/jau.2021.12392.
10. Scott A.J. Urbanization, Work and Community: The Logic of City Life in the Contemporary World // Quality Innovation Prosperity. 2017. Vol. 21. Iss. 1. P. 9–30. https://doi.org/10.12776/qip.v21i1.785.
11. Sarchenko V.I., Khirevich S.A., Sarchenko M.V. The Cost Modeling of Urbanized Areas // Real Estate: Economics, Management. 2021. Iss. 4. P. 42–48. https://doi.org/10.22337/2073-8412-2021-4-42-48. EDN: UDFYPD.
12. Эргашев М.М. Утилизация строительных отходов – мировой опыт // Теория и практика современной науки. 2020. № 10. С. 90–93. EDN: JWWWLT.
13. Каменецкий М.И., Яськова Н.Ю. Административный ресурс как фактор повышения эффективности системы государственного управления // Проблемы прогнозирования. 2015. № 2. С. 33–42. EDN: UCCUYV.
14. Пешков В.В. Прогнозирование надежности строительной системы региона // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2023. № 8. С. 72–79. https://doi.org/10.32683/0536-1052-2023-776-8-72-79. EDN: GNPZHS.
15. Яськова Н.Ю. Парадоксы рынка жилой недвижимости // Недвижимость: экономика, управление. 2022. № S3-1. С. 140–143. EDN: MLUWBY.
16. 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.
17. Манкиев М.Б. Этапы жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта по развитию территории // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. 2021. № 2-1. С. 1–33. EDN: FGMUIW.
18. Яськова Н.Ю., Сарченко В.И., Хиревич С.А. Комплексный подход к формированию качественной конкурентоспособной городской среды. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2023. 356 с.
19. Кострикин П.Н. Модель синхронизации комплексного развития многофункциональной городской среды // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 3. С. 339–348. https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.3.339-348. EDN: LBKIBN.
20. Maksimov S.N. Integrated Development of Territories and Its Bottlenecks // Real Estate: Economics, Management. 2023. № 1. С. 54–58. https://doi.org/10.22337/2073-8412-2023-1-54-58. EDN: PWKJZL.
21. Сагидов Ю.Н. Пресечение процесса хронического воспроизводства отсталости регионов экономически периферийной части России // Россия: тенденции и перспективы развития. IX Междунар. науч.-практ. конф. «Регионы России: стратегии и механизмы модернизации, инновационного и технологического развития» (г. Курск, 05–06 июня 2018 г.). М., 2018. С. 209–214. EDN: VNMGCA.

22. Silka D.N. Uncompleted Construction Work in The Russian Federation: Causes and Remedies // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 403. P. 1–8. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340301004.
23. Yaskova N.Yu., Samoilov S.Yu. Synthesis of Urban Estate Development Processes // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 535. P. 1–6. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453502016.
24. Мангушев И.Ф., Полити В.В. Аудит инвестиционно-строительных проектов как организационный ресурс и инновации // ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика. 2023. № 2. С. 39–61. https://doi.org/10.24412/2071-6435-2023-2-39-61. EDN: HAECBD.
25. Иванов О.Б., Бухвальд Е.М. Мобилизационная экономика в России: вчера, сегодня и… // ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика. 2022. № 3. С. 7–27. https://doi.org/10.24412/2071-6435-2022-3-7-27. EDN: KTGBRL.
26. Маньковский И.А. Институциональная экономическая теория как научная основа перехода на новый технологический уклад: перспективы и условия применения // Экономическое возрождение России. 2022. № 4. С. 57–67. https://doi.org/10.37930/1990-9780-2022-4-74-57-67. EDN: AGAASH.
27. Пешков В.В., Микулинская О.О. Шестой технологический уклад: некоторые аспекты развития строительной отрасли // Молодежный вестник ИрГТУ. 2017. № 4. С. 1–15. EDN: ZXOUAR.
28. Рябичева О.И., Магомедова З.Г., Султанова Л.Ш. Анализ отечественного и зарубежного опыта процедур банкротства предприятий // Журнал прикладных исследований. 2022. Т. 8. № 6. С. 702–706. https://doi.org/10.47576/2712-7516_2022_6_8_702. EDN: NNTPBL.
29. Близно Л.В., Преображенская К.Ю. Институт банкротства физических лиц: зарубежный опыт и российская практика // Евразийский юридический журнал. 2020. № 7. С. 196–197. EDN: WOBKNS.
30. Мельникова А.К. Развитие института банкротства в России и за рубежом // Синергия наук. 2020. № 50. С. 161–165. EDN: WXKLOH.
31. Zaitseva L.I. Influence of Judicial Practice On the Development of Investment and Construction Sector and Ensuring Conflict-Free Project Realization // Real Estate: Economics, Management. 2023. Iss. 4. P. 69–72. https://doi.org/10.22337/2073-8412-2023-4-69-72. EDN: AGOHWS.
32. Федоров М.В. Взаимоотношения участников инвестиционно-строительного проекта // Инновации и инвестиции. 2018. № 4. С. 42–47. EDN: EYNBTR.
33. Zaytseva L.I. Conditions and Background for The Introduction of Non-Judicial Dispute Resolution Methods in The Investment and Construction Sphere // Gosudarstvennaya sluzhba. 2019. Vol. 21. Iss. 4. P. 66–69. https://doi.org/10.22394/2070-8378-2019-21-4-66-69. EDN: NTASUN.
34. Яськова Н.Ю., Зайцева Л.И. К вопросу внедрения внесудебных методов разрешения споров в строительстве // Экономика строительства. 2019. № 5. С. 13–22. EDN: BHKLTD.

REFERENCES

1. Cherkesova E.Yu., Turbanov V.V. The Reproduction of Human Capital and Factors Influencing the Process of Its Formation. *First Economic Journal.* 2024;6:64-71. (In Russ.). https://doi.org/10.58551/20728115_2024_6_64. EDN: BVWKWZ.
2. Pochkin E.O. The Impact of Life Expectancy on Economic Growth. Finansovyi biznes. 2021;7:79-81. (In Russ.). EDN: QZPAQB.
3. Varnavskaya D.S., Polyakova A.S. Market and Market Relations. *Vestnik Luganskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Vladimira Dalya.* 2023;10:45-48. (In Russ.). EDN: PTVEQQ.
4. Lenin V.I. *Imperialism as the Highest Stage of Capitalism.* Moscow: AST, 2021. 224 p. (In Russ.).
5. Marks K. Capital, 2010, 544 p. (Russ. ed.: *Kapital*. Moscow: AST; 2010, 544 p.).
6. Viktorov M.Yu., Yaskova N.Yu. Strategic Aspects in Construction Development: Directions, Transformations, Human Capital. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2022;12(1):10-19. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-10-19. EDN: NIXNRT.
7. Alekseev S.A., Viktorov M.Yu., Grabovyi P.G., Zaitseva L.I., Kazanskii N.V., Kaminskii M.A. et al. *Spatial Restructuring. New Meanings and Rules of Investment and Construction Activities.* Moscow: Publishing house “Delo”, 2019. 454 p. (In Russ.). EDN: KGWAKW.
8. Kochukhova E.S., Martianov V.S. Creative City or Right Toward the City: Alternative of Urban Development in Russian Context. *Antinomies.* 2019;19(2):45-66. (In Russ.). https://doi.org/10.17506/aipl.2019.19.2.4566. EDN: VDBLZF.
9. Mozuriunaite S., Sabaityte J. To What Extent We Do Understand Smart Cities and Characteristics Influencing City Smartness. *Journal of Architecture and Urbanism.* 2021;45(1):1-8. https://doi.org/10.3846/jau.2021.12392.
10. Scott A.J. Urbanization, Work and Community: The Logic of City Life in the Contemporary World. *Quality Innovation Prosperity.* 2017;21(1):9-30. https://doi.org/10.12776/qip.v21i1.785.
11. Sarchenko V.I., Khirevich S.A., Sarchenko M.V. The Cost Modeling of Urbanized Areas. *Real Estate: Economics, Management.* 2021;4:42-48. https://doi.org/10.22337/2073-8412-2021-4-42-48. EDN: UDFYPD.

12. Ergashev M.M. Recycling of Construction Waste – World Experience. *Teoriya i praktika sovremennoi nauki.* 2020;10:90-93. (In Russ.). EDN: JWWWLT.
13. Kamenetskii M.I., Yaskova N.Y. Administrative Resources as A Factor in Improving the Efficiency of the State Administration System. *Studies on Russian Economic Development.* 2015;2:33-42. (In Russ.). EDN: UCCUYV.
14. Peshkov V.V. Forecasting The Reliability of the Regional Construction System. *News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2023;8:72-79. (In Russ.). https://doi.org/10.32683/0536-1052-2023-776-8-72-79. EDN: GNPZHS.
15. Yaskova N.Yu. Paradoxes of The Residential Real Estate Market. *Real Estate: Economics, Management.* 2022;S3-1:140-143. (In Russ.). EDN: MLUWBY.
16. Yaskova N.Yu., Zaitseva L.I. Emerging Trends in The Construction Market Under Increasing Sanctions Pressure. *Monthly Journal on Construction and Architecture.* 2023;18(12):2025-2036. (In Russ.). https://doi.org/10.22227/1997-0935.2023.12.2025-2036. EDN: XFNJFU.
17. Mankiev M.B. Stages of The Life Cycle of an Investment and Construction Project for The Development of the Territory. *International Journal of Applied Sciences and Technology Integral.* 2021;2-1:1-33. (In Russ.). EDN: FGMUIW.
18. Yaskova N.Yu., Sarchenko V.I., Khirevich S.A. *An Integrated Approach to The Formation of a High-Quality Competitive Urban Environment.* Moscow: Publishing and trading corporation “Dashkov i Ko”, 2023. 356 p. (In Russ.).
19. Kostrikin P.N. Model of Synchronization of Integrated Development of Multifunctional Urban Environment. *Monthly Journal on Construction and Architecture.* 2018;13(3):339-348. (In Russ.). https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.3.339-348. EDN: LBKIBN.
20. Maksimov S.N. Integrated Development of Territories and Its Bottlenecks. *Real Estate: Economics, Management.* 2023;1:54-58. https://doi.org/10.22337/2073-8412-2023-1-54-58. EDN: PWKJZL.
21. Sagidov Yu.N. Stopping The Process of Chronic Reproduction of Backwardness of Regions of the Economically Peripheral Part of Russia. In: *Rossiya: tendentsii i perspektivy razvitiya. IX Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Regiony Rossii: strategii i mekhanizmy modernizatsii, innovatsionnogo i tekhnologicheskogo razvitiya» = Russia: Development Trends and Prospects. IX International Scientific and Practical Conference “Regions of Russia: Strategies and Mechanisms of Modernization, Innovative and Technological Development”.* 05–06 June 2018, Kursk. Moscow; 2018. p. 209–214. (In Russ.). EDN: VNMGCA.
22. Silka D.N. Uncompleted Construction Work in The Russian Federation: Causes and Remedies. *E3S Web of Conferences.* 2023;403:1-8. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340301004.
23. Yaskova N.Yu., Samoilov S.Yu. Synthesis of Urban Estate Development Processes. *E3S Web of Conferences.* 2024;535:1-6. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453502016.
24. Mangushev I.F., Politi V.V. Audit of Investment and Construction Projects as an Organizational Resource and Innovation. *ETAP: Economic Theory, Analysis, and Practice.* 2023;2:39-61. (In Russ.). https://doi.org/10.24412/2071-6435-2023-2-39-61. EDN: HAECBD.
25. Ivanov O.B., Buchwald E.M. Mobilization Economy in Russia: Yesterday, Today and… *ETAP: Economic Theory, Analysis, and Practice.* 2022;3:7-27. (In Russ.). https://doi.org/10.24412/2071-6435-2022-3-7-27. EDN: KTGBRL.
26. Mankovsky I.A. Institutional Economics as A Scientific Basis for The Transition to A New Technological Order: Prospects and Conditions for Application. *Economic Revival of Russia.* 2022;4:57-67. (In Russ.). https://doi.org/10.37930/1990-9780-2022-4-74-57-67. EDN: AGAASH.
27. Peshkov V.V., Mikulinskaya O.O. The Sixth Technological Structure: Some Aspects of Construction Industry Development. *Young Researchers' Journal of ISTU.* 2017;4:1-15. (In Russ.). EDN: ZXOUAR.
28. Ryabicheva O.I., Magomedova Z.G., Sultanova L.Sh. Analysis of Domestic and Foreign Experience Bankruptcy Procedures for Enterprises. *Journal of Applied Research.* 2022;8(6):702-706. (In Russ.). https://doi.org/10.47576/2712-7516_2022_6_8_702. EDN: NNTPBL.
29. Blizno L.V., Preobrazhenskaya K.Yu. Institute of Individual Bankruptcy: Foreign Experience and Russian Practice. *Eurasian Law Journal.* 2020;7:196-197. (In Russ.). EDN: WOBKNS.
30. Melnikova A.K. Development of The Institute of Bankruptcy in Russia and Abroad. *Sinergiya nauk.* 2020;50:161-165. (In Russ.). EDN: WXKLOH.
31. Zaitseva L.I. Influence of Judicial Practice On the Development of Investment and Construction Sector and Ensuring Conflict-Free Project Realization. *Real Estate: Economics, Management.* 2023;4:69-72. https://doi.org/10.22337/2073-8412-2023-4-69-72. EDN: AGOHWS.
32. Fedorov M.V. Relationships Between Participants in an Investment and Construction Project. *Innovation & Investment.* 2018;4:42-47. (In Russ.). EDN: EYNBTR.
33. Zaytseva L.I. Conditions and Background for The Introduction of Non-Judicial Dispute Resolution Methods in The Investment and Construction Sphere. *Gosudarstvennaya sluzhba.* 2019;21(4):66-69. https://doi.org/10.22394/2070-8378-2019-21-4-66-69. EDN: NTASUN.

34. Yaskova N.Yu., Zaitceva L.I. On The Issue of ADR Promotion in Construction (On The Basis of Materials of III Scientific and Practical Conference “Non-Judicial Settlement of Economic Disputes in Investment and Construction Sphere”). *Construction Economy.* 2019;5:13-22. (In Russ.). EDN: BHKLTD.

Информация об авторах

Зайцева Лариса Игоревна,
к.ю.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: zaytseva-li@ranepa.ru
https://orcid.org/0000-0002-8325-4342
Author ID: 1027747

Сивяков Вячеслав 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

Information about the authors

Larisa I. Zaitseva,
Cand. Sci. (Legal), 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: zaytseva-li@ranepa.ru,
https://orcid.org/0000-0002-8325-4342
Author ID: 1027747

Vyacheslav A. Sivyakov,
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

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.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 30.01.2025.
Одобрена после рецензирования 14.02.2025.
Принята к публикации 17.02.2025.

Information about the article

The article was submitted 30.01.2025.
Approved after reviewing 14.02.2025.
Accepted for publication 17.02.2025.

Научная статья
УДК 332.15
EDN: VUJDJL
DOI: 10.21285/2227-2917-2025-2-213-220

Разработка концепции определения локальных центров регионального рынка недвижимости в свете теорий региональной экономики

И.А. Казимиров[1]✉, М.В. Матвеева[2]
[1,2]Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Аннотация. Одним из важнейших секторов экономики является рынок недвижимости. Важнейшей характеристикой местоположения как основного ценообразующего фактора на рынке является расстояние до локальных центров, близость к которым повышает спрос на объекты недвижимости. Определение локальных центров исследуемой территории является актуальной задачей, решаемой в оценочной, градостроительной и иных видах деятельности. Цель исследования заключалась в разработке концепции определения локальных центров рынка недвижимости в свете теорий региональной экономики. Задачами исследования являлись обобщение теорий региональной экономики как теоретической базы определения локальных центров регионального рынка недвижимости, а также разработка на базе полученных результатов концепции определения локальных центров рынка недвижимости. По итогам проведенного исследования была определена доминирующая в теории размещения региональной экономики концепция центральных мест. Выделены ее основные постулаты о существовании в границах экономического пространства центральных мест, расстояние до которых определяет эффективность местоположения объектов экономической деятельности. Сформулированы основные положения концепции определения локальных центров рынка недвижимости. Предложена трактовка понятия локальный центр регионального рынка недвижимости, отличающаяся тем, что не опирается на какие-либо конкретные элементы экономического пространства. Предложена концепция определения локальных центров регионального рынка недвижимости, заключающаяся в определении зон концентрации гомогенных (эталонных по характеристикам) объектов недвижимости с максимальными стоимостными показателями.

***Ключевые слова*:** экономическое пространство, взаимосвязь элементов экономического пространства, теория размещения, региональный рынок недвижимости, местоположение, локальный центр

Для цитирования: Казимиров И.А., Матвеева М.В. Разработка концепции определения локальных центров регионального рынка недвижимости в свете теорий региональной экономики // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 2. С. 213–220. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-213-220. EDN: VUJDJL.

Original article

Development of a concept for defining local centers of the regional real estate market in the light of regional economic theories

Ilya A. Kazimirov[1]✉, Maria V. Matveeva[2]
[1,2]Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. One of the most important sectors of the economy is the real estate market. The most important characteristic of location as the main price-forming factor in the market is the distance to local centers, the proximity to which increases the demand for real estate. The identification of local centers of the studied territory is an urgent task to be solved in assessment, urban planning and other types of activities. The purpose of the study was to develop a concept for defining local real estate market centers in the light of regional economics theories. The objectives of the study were to generalize the theories of re-

© Казимиров И.А., Матвеева М.В., 2025

gional economics as a theoretical basis for determining the local centers of the regional real estate market, as well as to develop a concept for determining the local centers of the real estate market based on the results obtained. Based on the results of the study, the concept of central locations, which dominates the theory of regional economic location, was identified. Its main postulates about the existence of central places within the boundaries of the economic space are highlighted, the distance to which determines the effectiveness of the location of objects of economic activity. The main provisions of the concept of defining local centers of the real estate market are formulated. An interpretation of the concept of the local center of the regional real estate market is proposed, which differs in that it does not rely on any specific elements of the economic space. The concept of determining the local prices of the regional real estate market is proposed, which consists in determining the concentration zones of homogeneous (reference in terms of characteristics) real estate objects with maximum cost indicators.

Keywords: economic space, interrelation of the elements of economic space, theory of location, regional real estate market, location, local center

For citation: Kazimirov I.A., Matveeva M.V. Development of a concept for defining local centers of the regional real estate market in the light of regional economic theories. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(2):213-220. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-213-220. EDN: VUJDJL.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших секторов экономики является рынок недвижимости как материальной основы большинства видов деятельности [1, 2].

Одним из основных свойств рынка недвижимости является привязка товара к определенной территории, поэтому пространственный фактор имеет превалирующее для рынка значение, а местоположение является одним из основных по степени влияния на стоимостные показатели ценообразующим фактором.

Важнейшей характеристикой местоположения является расстояние от объектов недвижимости до центров влияния или локальных центров – объектов экономического пространства и/или иных значимых мест, воспринимаемых участниками рынка как точки притяжения, близость к которым повышает спрос на объекты недвижимости.

Определение вышеуказанных локальных центров является актуальной задачей, решаемой в целях повышения точности результатов в оценочной и иных видах деятельности, связанных с определением стоимостных показателей объектов недвижимости.

Определение локальных центров городских территорий как базовых элементов каркаса городской среды в целях ее системного развития является актуальной задачей в градостроительной деятельности [3–8].

Применение теорий региональной экономики при исследовании рынка недвижимости как ее неотъемлемой части является оправданным. Исходя из вышесказанного, основная цель проведенного исследования заключалась в разработке концепции определения локальных центров рынка недвижимости в свете теорий региональной экономики.

Исходя из поставленной цели, задачами проведенного исследования являлись:

– обобщение теорий региональной экономики как теоретической базы определения локальных центров регионального рынка недвижимости;

– разработка концепции определения локальных центров рынка недвижимости на базе результатов обобщения теорий региональной экономики.

Объектом исследования в работе является региональный рынок недвижимости.

Предметом исследования являются локальные центры регионального рынка недвижимости.

МЕТОДЫ

Пространственный фактор и его взаимосвязь с экономической деятельностью исторически являются основой развития региональной экономики как науки [9]. В числе пространственных теорий региональной экономики базисной является теория размещения, решающая задачи определения оптимального местоположения объектов экономического пространства [10, 11].

Классические модели теории размещения (в частности, модель территориальной организации сельского хозяйства Иоганна Генриха фон Тюнена, модели размещения промышленных предприятий Вильгельма Лаунхардта и Альфреда Вебера, модели пространственного равновесия и размещения предприятий Уолтера Айзарда) обуславливают выбор оптимального размещения объектов экономической деятельности такими факторами, как их расстояние до

рынков сбыта и источников ресурсов, влияющее на транспортные затраты предприятий [12–19].

Развитие классических штандортных теорий в части изучения центральных мест как элементов экономического пространства, оказывающих влияние на эффективность расположения объектов экономической деятельности, получило в работах Вальтера Кристаллера и Августа Лёша. В. Кристаллер в работе [20] определил факторы (численность населения, спектр предлагаемых товаров и услуг), влияющие на размещение центральных мест (поселений), а также сформулировал гипотезу об их регулярной и иерархичной структуре. А. Лёш в работе [21] сформулировал концепцию экономического ландшафта, представляющего собой зоны, центрами которых являются производители товаров и услуг, а границы определяются условием установления равновесия цен (функционально зависящих от расстояния до рынков сбыта) соседних производителей.

Следовательно, в трудах В. Кристаллера и А. Лёша выведена теория размещения региональной экономики на уровене исследования не отдельных элементов экономического пространства, а пространственных систем в целом.

Развитием концепции центральных мест является разработанная Франсуа Перру [22] теория полюсов и центров роста, обосновавшая причины их возникновения как результат деформации экономического пространства вследствие неравенства (различия по характеристикам) его объектов. Его идеи развил Жак Будвиль [23, 24], дифференцировавший полюса роста в зависимости от характера сложившихся в них отраслей экономики.

Теория полюсов роста получила развитие в работах Пьера Потье об осях развития территорий, основным результатом которых является вывод о формировании вдоль основных транспортно-логистических линий, связывающих полюса роста, зон повышенной экономической активности – коридоров развития, образующих пространственный каркас исследуемой территории [25, 26].

Классический вариант теории центральных мест активно развивается в работах современных исследователей. Так, Вячеслав Александрович Шупер разработал [27] релятивистский вариант теории, учитывающий неравномерность распределения населения исследуемой территории. Руслан Васильевич Дмитриев в своих работах [28–31] уточняет понятийный аппарат и методические основы теории центральных мест. Павел Павлович Эм предложил идею представления центральных мест не точками, а пространственными объектами, и ввел понятие размытого центрального места[1].

Важной составляющей его работ является исследование [32] функциональной нагруженности центральных мест и введение понятия центральной функции, рассматриваемой как результат действия основных социально-экономических показателей исследуемой территории.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ истории развития позволяет определить концепцию центральных мест как доминирующую в теории размещения региональной экономики, а также выделить ее основные постулаты:

1. В границах экономического пространства существуют определенные центральные места, влияющие на экономическую деятельность расположенных на нем объектов.

2. Расстояние до центральных мест определяет эффективность местоположения объектов экономической деятельности.

3. Местоположение и состав центральных мест является априори известными.

Следует отметить, что концепция центральных мест теории размещения региональной экономики не учитывает их возможное комплексное влияние, а также то, что в границах исследуемой территории могут существовать центральные места, не привязанные к каким-либо конкретным, заранее известным объектам, однако, оказывающие влияние на эффективность местоположения объектов экономической деятельности. Применение теории размещения (в том числе концепции центральных мест) региональной экономики для определения локальных центров рынка недвижимости является оправданным, однако, требует ее адаптации, в том числе:

1. Уточнение трактовки понятия центрального места как элемента экономического пространства, оказывающего влияние на эффективность расположения объектов недвижимости.

2. Выбор показателя, определяющего эффективность расположения объектов экономического пространства, используемого для определения местоположения центральных мест.

Для целей исследования, учитывая возможное комплексное влияние центров, а также возможное существование на исследуемой территории центров, не привязанных к каким-

[1]Эм П.П. Системы размытых центральных мест Корейского полуострова: диссертация на соискание ученой степени к.г.н. М., 2013. 194 с. EDN: SVERCH.

либо конкретным объектам, предпочтительным является устранение из определения центральных мест привязки к определенным объектам экономического пространства. Ключевыми индикаторами состояния рынка недвижимости являются стоимостные показатели представленных на нем объектов. Начиная с истоков зарождения региональной экономики как науки, в моделях экономического пространства в той или иной степени используются стоимостные показатели представленных на рынке товаров. Вышесказанное позволяет сделать вывод об обоснованности выбора стоимостных показателей представленных на рынке объектов недвижимости в качестве показателя, определяющего эффективность их расположения, и используемого для определения местоположения центральных мест.

Учитывая вышесказанное, в качестве термина, определяющего элемент экономического пространства, оказывающий влияние на эффективность расположения объектов недвижимости, может быть использовано понятие локальный центр регионального рынка недвижимости, под которым понимается точка экономического пространства, расстояние до которой существенно влияет на стоимостные показатели объектов недвижимости. В отличие от центрального места, приведенное понятие локального центра регионального рынка недвижимости не опирается на какие-либо конкретные элементы экономического пространства, и, поэтому, способно учитывать комплексный характер их воздействия. Кроме того, предлагаемое определение по смыслу близко понятию локального центра городской территории, используемого [4] в градостроительной деятельности. Концепция определения локальных центров регионального рынка недвижимости заключается в определении в границах исследуемой территории зон концентрации гомогенных (эталонных по характеристикам) объектов недвижимости с максимальными стоимостными показателями. Центры указанных зон являются локальными центрами рынка, поскольку пользуются повышенным спросом покупателей, а расстояние до них определяет эффективность расположения объектов недвижимости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, по итогам проведенного исследования были решены все поставленные задачи:

1. Обобщены теории региональной экономики как теоретической базы определения локальных центров регионального рынка недвижимости. Концепция центральных мест определена как доминирующая в теории размещения региональной экономики. Выделены ее основные постулаты о существовании в границах экономического пространства центральных мест, расстояние до которых определяет эффективность местоположения объектов экономической деятельности.

2. Сформулированы основные положения концепции определения локальных центров рынка недвижимости, в том числе:

– предложена трактовка понятия локальный центр регионального рынка недвижимости, отличающаяся тем, что не опирается на какие-либо конкретные элементы экономического пространства;

– предложена концепция определения локальных центров регионального рынка недвижимости, заключающаяся в определении зон концентрации гомогенных (эталонных по характеристикам) объектов недвижимости с максимальными стоимостными показателями.

Результаты определения локальных центров региональных рынков недвижимости могут быть использованы в качестве ценообразующих факторов при определении стоимостных показателей объектов, а также при определении локальных центров городских территорий как этап реализации мероприятий обеспечения комплексного развития комфортной городской среды и повышения экономической эффективности их развития [33].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Любарская М.А., Глазков К.В. Значение региональных рынков недвижимости для современной экономики // Экономический вектор. 2023. № 2. С. 46–50. https://doi.org/10.36807/2411-7269-2023-2-33-46-50. EDN: KBPWHZ.

2. Бурдинская Д.М. Теоретические основы функционирования и оценки состояния регионального рынка жилья в современных условиях // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. 2023. № 3. С. 102–111. https://doi.org/10.21295/2223-5639-2023-3-102-111. EDN: MXEHVW.

3. Дубянский А.Н. Развитие теории размещения и ее применение в градостроительной политике // Экономика и управление. 2011. № 8. С. 17–20. EDN: OCOMYX.

4. Крашенинников А.В. Локальные центры в пространстве мегаполиса // Innovative Project. 2016. Т. 1. № 4. С. 60–65. https://doi.org/10.17673/IP.2016.1.04.8. EDN: ZWRHJJ.

5. Магон Т.С. Экономико-географические модели XX века как инструменты развития современных урбанизированных территорий в России: недостатки и возможности // Проблемы современной урбанизации: преемственность и новации. Сб. статей Междунар. конф. (г. Москва, 22–23 марта 2022 г.). М., 2022. С. 71–77. EDN: MZYEAX.
6. Магон Т.С. Пространственный подход к развитию высокоурбанизированных территорий (на примере Московской агломерации) // Архитектура и современные информационные технологии. 2022. № 1. С. 188–194. https://doi.org/10.24412/1998-4839-2022-1-188-194. EDN: RNRYVQ.
7. Магон Т.С. Эволюция методического аппарата теории центральных мест: возможность применения к реальным системам расселения // Архитектура и современные информационные технологии. 2025. № 1. С. 206–215. https://doi.org/10.24412/1998-4839-2025-1-206-215. EDN: OPDKWW.
8. Манаева И.В., Ткачева А.С., Канищева А.В. Модели пространственного развития территорий: анализ зарубежной литературы // Теоретическая экономика. 2020. № 2. С. 74–83. EDN: DINLTU.
9. Печенкина А.В. Региональный рынок недвижимости в современной экономической теории // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3. С. 1–9. EDN: PAAGNZ.
10. Татаркин А.И., Анимица Е.Г. Формирование парадигмальной теории региональной экономики // Экономика региона. 2012. № 3. С. 11–21. EDN: PCIBIZ.
11. Маммаев Р.А. Современные направления развития теории региональной экономики // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2008. № 6. С. 64–69. EDN: KUFGBH.
12. Тюнен И.Г. Изолированное государство / пер. с нем. Е.А. Торнеус. М.: Экономическая жизнь, 1926. 340 с.
13. Launhardt W. Mathematical Principles of Economics. Aldershot – Brookfield: Edward Elgar, 1992. 208 p.
14. Вебер А. Теория размещения промышленности / пер. с нем. Н.А. Морозов. М.: Книга, 1926. 223 с.
15. Isard W. Methods of regional analysis. Cambridge: MIT Press, 1960. 287 p.
16. Isard W. Introduction to regional science. Englewood: Prentice-Hall, 1975. 506 p.
17. Isard W., Liossatos P. On Location Analysis for Urban and Regional Growth Situations // The Annals of Regional Science. 1972. Vol. 6. P. 1–27. https://doi.org/10.1007/BF01285510.
18. Isard W. Location and Space Economy. New York: Technology Press of Massachusetts Institute of Technology and Wiley, 1956. 350 p.
19. Дворядкина Е.Б., Лавщенко С.П. Классические подходы к исследованию локальных рынков в региональной экономике // Естественно-гуманитарные исследования. 2020. № 32. С. 135–139. https://doi.org/10.24412/2309-4788-2020-10703. EDN: QOURUL.
20. Christaller W. Central Places in Southern Germany. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1996. 230 p.
21. Лёш А. Пространственная организация хозяйства / пер. с нем. В. Н. Стрелецкого. М.: Наука, 2007. 662 с.
22. Perroux F. Economic Space: Theory and Applications // Quarterly Journal of Economics. 1950. Vol. 64. P. 89–104.
23. Boudeville J.-R. Les Espace Economique. Paris: Presses Universitaires De France, 1961. 127 p.
24. Boudeville J.-R. Problems of Regional Economic Planning. Edinburg: At The University Press, 1966. 192 p.
25. Pottier P. Axes De Communication Et Developpement Economique // Revue Economique. 1963. Vol. 14. Iss. 1. P. 58–132.
26. Минин Д.Л., Омарова Н.Ю. Теории пространственной экономики и стратегическое планирование в развитии предпринимательской деятельности // Международный экспедитор. 2021. № 1. С. 12–15. EDN: SOYNKJ.
27. Шупер В.А. Релятивистская теория центральных мест и расселение в постиндустриальную эпоху // География мирового развития. Сб. научных трудов. М.: Общество с ограниченной ответственностью «Товарищество научных изданий КМК», 2010. С. 177–194. EDN: ZCUNIB.
28. Дмитриев Р.В. Теория центральных мест: от статики к динамике. М.: Институт Африки РАН, 2023. 204 с. EDN: FBXMCR.
29. Дмитриев Р.В., Шупер В.А. Аксиоматический фундамент теории центральных мест: ревизия с позиций отечественной школы // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2023. Т. 87. № 3. С. 339–347. https://doi.org/10.31857/S2587556623030068. EDN: QQYFIH.
30. Дмитриев Р.В. Эволюция систем расселения в аспекте классической теории центральных мест // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2021. Т. 85. № 2. С. 165–175. https://doi.org/10.31857/S2587556621020047. EDN: GSITWO.
31. Дмитриев Р.В. Системы центральных мест: формирование популяционной и пространственной структур // Географический вестник. 2021. № 4. С. 6–17. https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-4-6-17. EDN: XJVTOK.
32. Эм П.П. Большой город как самостоятельная система центральных мест (на примере Москвы) //

Региональные исследования. 2017. № 3. С. 34–42. EDN: ZWMRSP.
33. 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.

REFERENCES

1. Liubarskaia M.A., Glazkov K.V. The Significance of Regional Real Estate Markets for The Modern Economy. *Economic Vector*. 2023;2:46-50. (In Russ.). https://doi.org/10.36807/2411-7269-2023-2-33-46-50. EDN: KBPWHZ.
2. Burdinskaya D.M. Theoretical Foundations of the Functioning and Assessment of the Regional Housing Market State Under Modern Conditions. *Herald of the Belgorod University of Cooperation, Economics and Law.* 2023;3:102-111. (In Russ.). https://doi.org/10.21295/2223-5639-2023-3-102-111. EDN: MXEHVW.
3. Dubyanskiy A.N. Development of Allocation Theory and Its Implementation in The Town-Planning Policy. *Economics and Management.* 2011;8:17-20. (In Russ.). EDN: OCOMYX.
4. Krasheninnikov A.V. Local Centers in The Megapolis Environment. *Innovative Project.* 2016;1(4):60-65. (In Russ.). https://doi.org/10.17673/IP.2016.1.04.8. EDN: ZWRHJJ.
5. Magon T.S. Economic-Geographical Models of the XX Century as Tools for The Development of Modern Urbanized Territories in Russia: Disadvantages and Opportunities. In: *Problemy sovremennoi urbanizatsii: preemstvennost' i novatsii. Sbornik statei Mezhdunarodnoi konferentsii = Problems of Modern Urbanization: Continuity and Innovation. Collection of Articles of the International Conference.* 22–23 March 2022, Moscow. Moscow; 2022. P. 71–77. (In Russ.). EDN: MZYEAX.
6. Magon T.S. Spatial Approach to The Development of Highly Urbanized Territories (On The Example of the Moscow Agglomeration). *Architecture and Modern Information Technologies.* 2022;1:188-194. (In Russ.). https://doi.org/10.24412/1998-4839-2022-1-188-194. EDN: RNRYVQ.
7. Magon T.S. Evolution of The Methodological Framework of Central Place Theory: Applicability to Real Settlement Systems. *Architecture and Modern Information Technologies.* 2025;1:206-215. (In Russ.). https://doi.org/10.24412/1998-4839-2025-1-206-215. EDN: OPDKWW.
8. Manaeva I.V., Tkacheva A.S., Kanishcheva A.V. Models of Spatial Development of Territories: Analysis of Foreign Literature. *Teoreticheskaya ekonomika.* 2020;2:74-83. (In Russ.). EDN: DINLTU.
9. Pechenkina A.V. Regional Real Estate in The Modern Economic Science. *Modern Problems of Science and Education.* 2012;3:1-9. (In Russ.). EDN: PAAGNZ.
10. Tatarkin A.I., Animitsa E.G. Formation of A Paradigmatic Theory of Regional Economics. *Economy of Regions.* 2012;3:11-21. (In Russ.). EDN: PCIBIZ.
11. Mammaev R.A. Modern Directions of Development of the Theory of Regional Economics. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Ekonomicheskie nauki.* 2008;6:64-69. (In Russ.). EDN: KUFGBH.
12. Tyunen I.G. Isolated State, 1926, 340 p. (Russ. ed.: *Izolirovannoe gosudarstvo*. Moscow: Economic Life, 1926, 340 p.).
13. Launhardt W. *Mathematical Principles of Economics.* Aldershot–Brookfield: Edward Elgar, 1992. 208 p.
14. Veber A. Industrial Location Theory, 1926, 223 p. (Russ. ed.: *Teoriya razmeshcheniya promyshlennosti.* Moscow: Book, 1926, 223 p.).
15. Isard W. *Methods of Regional Analysis.* Cambridge: MIT Press, 1960. 287 p.
16. Isard W. *Introduction to Regional Science.* Englewood: Prentice-Hall, 1975. 506 p.
17. Isard W., Liossatos P. On Location Analysis for Urban and Regional Growth Situations. *The Annals of Regional Science.* 1972;6:1-27. https://doi.org/10.1007/BF01285510.
18. Isard W. *Location and Space Economy.* New York: Technology Press of Massachusetts Institute of Technology and Wiley, 1956. 350 p.
19. Dvoryadkina E.B., Lavshenko S.P. Classical Approaches to Research Local Markets in The Regional Economy. *Natural-Humanitarian Studies.* 2020;32:135-139. (In Russ.). https://doi.org/10.24412/2309-4788-2020-10703. EDN: QOURUL.
20. Christaller W. *Central Places in Southern Germany.* Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1996. 230 p.
21. Lesh A. Spatial Organization of the Economy, 2007, 662 p. (Russ. ed.: *Prostranstvennaya organizatsiya khozyaistva*, Moscow: Science, 2007, 662 p.).
22. Perroux F. Economic Space: Theory and Applications. *Quarterly Journal of Economics.* 1950;64:89-104.
23. Boudeville J.-R. *Les Espace Economique.* Paris: Presses Universitaires De France, 1961. 127 p.
24. Boudeville J.-R. *Problems of Regional Economic Planning.* Edinburg: At The University Press, 1966. 192 p.
25. Pottier P. Axes De Communication Et Developpement Economique. *Revue Economique*. 1963;14(1):58-

132.
26. Minin D.L., Omarova N.Y. The Development of the Theory of Spatial Economics and Its Impact On Strategic Business Planning. *Journal of Monetary Economics and Management.* 2021;1:12-15. (In Russ.). EDN: SOYNKJ.
27. Shuper V.A. Relativistic Central Place Theory and Settlement in the Post-Industrial Era. In: *Geography of World Development. Collection of Scientific Papers.* Moscow: Limited Liability Company "KMK Scientific Publications Partnership", 2010. P. 177–194. (In Russ.).
28. Dmitriev R.V. *Theory of Central Places: From Statics to Dynamics.* Moscow: Institute for African Studies, Russian Academy of Sciences, 2023. 204 p. (In Russ.). EDN: FBXMCR.
29. Dmitriev R.V., Shuper V.A. Axiomatic Foundation of the Central Place Theory: Revision from The Position of the Russian Scientific School. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya.* 2023;87(3):339-347. (In Russ.). https://doi.org/10.31857/S2587556623030068. EDN: QQYFIH.
30. Dmitriev R.V. The Evolution of Settlement Systems in Classic Central Place Theory. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya.* 2021;85(2):165-175. (In Russ.). https://doi.org/10.31857/S2587556621020047. EDN: GSITWO.
31. Dmitriev R.V. Central Place Systems: Formation of The Population and Spatial Structures. *Geographical Bulletin.* 2021;4:6-17. (In Russ.). https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-4-6-17. EDN: XJVTOK.
32. Em P.P. Big City as A Self-Contained Central Place System (The Case of Moscow). *Regional Research.* 2017;3:34-42. (In Russ.). EDN: ZWMRSP.
33. 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. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-10-19. EDN: UINEZA.

Информация об авторах

Казимиров Илья Александрович,
старший преподаватель кафедры экспертизы и управления недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉e-mail: ilya@appfordepo.nichost.ru
https://orcid.org/0000-0002-3708-256X
Author ID: 953838

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

Information about the authors

Ilya A. Kazimirov,
Senior lecturer of the Department of Expertise and Real Estate Management,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
✉e-mail: ilya@appfordepo.nichost.ru
https://orcid.org/0000-0002-3708-256X
Author ID: 953838

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

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.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 31.03.2025.
Одобрена после рецензирования 08.04.2025.
Принята к публикации 09.04.2025.

Information about the article

The article was submitted 31.03.2025.
Approved after reviewing 08.04.2025.
Accepted for publication 09.04.2025.

Научная статья
УДК 628.2:53
EDN: XYGDSV
DOI: 10.21285/2227-2917-2025-2-221-235

Оптимизация систем водоснабжения на основе критерия стоимости их жизненного цикла

И.А. Абросимова[1], В. А. Бобер[2]✉, Р.Н. Ярыгин[3], Б. Мэндбаяр[4]
[1,2,3,4]Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия
[4]Физико-технический институт Монгольской академии наук, Улан-Батор, Монголия

Аннотация. Переход на технологии информационного моделирования является логическим и неизбежным этапом развития человечества. Процессы компьютеризации, которые происходят во всех сферах знания, неизбежно в количественном отношении перерастут в новое качество. Технологии информационного моделирования предполагают разработку, наполнение и развитие цифровых двойников существующих и проектируемых систем водоснабжения, которые должны охватывать весь их жизненный цикл, начиная с замысла, проектирования, строительства, эксплуатации и утилизации. Цифровые двойники – это не только графическая визуализация и представление объекта в виде 3D-моделей, но и моделирование режимов функционирования объекта и его реакции на внешние меняющиеся условия. В системах водоснабжения – это модели распределения потоков и движения воды в напорных трубопроводах в статических и динамических режимах эксплуатации. Следует отметить, что переход на цифровые модели позволяет существенно увеличить число анализируемых вариантов проектируемой системы водоснабжения и детально рассмотреть все возможные этапы их жизненного цикла. В этом отношении эффективным является критерий стоимости жизненного цикла системы. Однако применение этого критерия требует определенных исследований и оценки получаемых результатов, особенно при решении схемно-структурных и схемно-параметрических задач оптимизации, поскольку эти задачи обеспечивают наибольший экономический эффект.

***Ключевые слова*:** системы водоснабжения, транспортная система водоснабжения, граф, надежный граф, затраты на жизненный цикл, коэффициент дисконтирования

Для цитирования: Абросимова И.А., Бобер В.А., Ярыгин Р.Н., Мэндбаяр Б. Оптимизация систем водоснабжения на основе критерия стоимости их жизненного цикла // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 2. С. 221–235. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-221-235. EDN: XYGDSV.

Original article

Optimization of water supply systems based on the cost criterion of their life cycle

Ivanna A. Abrosimova[1], Viktor A. Bober[2]✉, Roman N. Yarygin[3], Bayarsaikhan Mendbayar[4]
[1,2,3,4]Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia
[4]Institute of Physics and Technology Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia

Abstract. The transition to information modeling technologies is a logical and inevitable stage in the development of mankind. The computerization processes that occur in all fields of knowledge will inevitably grow into a new quality in quantitative terms. Information modeling technologies involve the development, filling and development of digital counterparts of existing and projected water supply systems, which should cover their entire life cycle, starting with the conception, design, construction, operation and disposal. Digital doubles are not only graphical visualization and representation of an object in the form of 3D models, but also modeling of the modes of operation of an object and its response to changing external conditions. In water supply systems, these are models of the distribution of flows and movement

© Абросимова И.А., Бобер В.А., Ярыгин Р.Н., Мэндбаяр Б., 2025

of water in pressure pipelines in static and dynamic operating modes. It should be noted that the transition to digital models makes it possible to significantly increase the number of analyzed variants of the projected water supply system and to consider in detail all possible stages of their life cycle. In this regard, the criterion of the cost of the system lifecycle is effective. However, the application of this criterion requires certain studies and evaluation of the results obtained, especially when solving circuit-structural and circuit-parametric optimization problems, since these tasks provide the greatest economic effect.

Keywords: water supply systems, transport water supply system, graph, reliable graph, life cycle costs, discount rate

For citation: Abrosimova I.A., Bober V.A., Yarygin R.N., Mendbayar B. Optimization of water supply systems based on the cost criterion of their life cycle. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2025;15(2):221-235. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-221-235. EDN: XYGDSV.

ВВЕДЕНИЕ

Современный город невозможно представить без такой важной системы жизнеобеспечения как водоснабжение, от состояния и работоспособности которой зависит благополучие и здоровье населения, а также санитарное состояние городской территории и городского пространства. В тоже время эта система является капиталоемкими и крупным потребителем труб из различных материалов, электроэнергии и электросилового оборудования. Она также имеет сложные многоуровневые и пространственно-распределенные структуры. Управление проектированием, строительством и эксплуатацией такой системы требует глубокой автоматизации и цифровизации протекающих в них технологических процессов [1–3]. Построение цифрового двойника системы водоснабжения связано с моделированием режимов функционирования объекта и его реакции на внешние меняющиеся условия [4–8]. В системах водоснабжения внимание уделяется моделям распределения потоков и движения воды в напорных трубопроводах в статических и динамических режимах эксплуатации.

ГОСТ Р 58785–2019 «Качество воды. Оценка стоимости жизненного цикла для эффективной работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения» рекомендует сравнение вариантов осуществлять на основе следующей формулы [1]:

$$\text{СЖЦ} = \sum_{t=t_1}^{T}\left(\frac{K_t^e}{(1+r)^t}\right) + \sum_{t=t_2}^{T}\left(\frac{C_t^{\text{экс}}}{(1+r)^t}\right) + C_d^y, \quad (1)$$

где K_t^e – капиталовложения в объекты водоснабжения и водоотведения по периодам строительства, капитального ремонта и реконструкции, начиная с момента времени t_1, $C_t^{\text{экс}}$ – ежегодные эксплуатационные затраты по трубопроводам, насосным станциям и др. сооружениям, начиная с периода времени t_2, когда системы начинают функционировать, C_d^y – затраты на разборку и утилизацию отслужившего свой срок оборудования, T – расчетное время жизненного цикла, r – норма дисконта (величина ставки рефинансирования, установленная Центральным банком Российской Федерации, например, на 2025 г. он установил 21 %) играет роль базового уровня, в сравнении с которым оценивается экономическая эффективность варианта проекта.

МЕТОДЫ

В ГОСТ Р 58785–2019 прописано то, как формировать единовременные капиталовложения и эксплуатационные затраты, но отсутствуют рекомендации по назначению расчетного времени жизненного цикла, хотя этот показатель является одним из главных составляющих в формуле (1). Если расчетное время принять от 8 до 10 лет, то формула (1) будет соответствовать критерию проведенных затрат, а время будет соответствовать нормативному сроку эффективности капиталовложений [11–17]. Если Т принять наименьшему кратному сроку службы составляющих сооружений и трубопроводов, то оно будет исчисляться сотнями и даже тысячами лет. Даже при Т = 100 лет коэффициенты дисконтирования (2), при норме дисконта r = 21 %, принятой в 2025 г., приведут к обнулению затрат жизненного цикла (1).

$$R_{1,2}^0 = \sum_{t=t_{1,2}}^{T}\left(\frac{1}{(1+r)^t}\right), \quad (2)$$

Возникает несколько вопросов: как назначить данное время, каким параметрам оно должно соответствовать, на сколько необходимо учитывать срок службы оборудования, если опираться

на показатели срока службы оборудования, то по каким критериям необходимо вести его отбор и выбирать рациональное значение? Эти вопросы являются предметом исследования в настоящей работе. Также на примере численных экспериментов показаны особенности применения формулы (1) как критерия оценки проектных решений проектируемой системы водоснабжения с использованием классических методов оптимизации.

Если рассматривать укрупненную модель жизненного цикла объектов капитального строительства, то его можно разделить на четыре основных этапа (рис. 1):

– замысел;
– строительство;
– эксплуатация;
– ликвидация.

Наиболее сложными и ответственными являются этапы «замысел» и «строительство», от их эффективности зависит стоимость наиболее продолжительного этапа «эксплуатация». В системах водоснабжения среди составляющих эксплуатационных затрат доминирующими является электроэнергия. Чтобы ее минимизировать надо уменьшать потери напора, следовательно, требуется увеличивать диаметры трубопроводов, что на уровне строительства приводит к увеличению капиталовложений.



Рис. 1. Укрупненная схема жизненного цикла сооружения
Fig. 1. An enlarged scheme of the building's life cycle

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Капиталовложения в системы водоотведения для технико-экономических расчетов можно определять на основании укрупненных нормативов цен строительства НЦС-81-02-14-2025, НЦС-81-02-19-2025. Годовые эксплуатационное затраты рассчитываются на основе документа Федеральной службы по тарифам приказ от 27 декабря 2013 г. № 1746-э «Об утверждении методических указаний по расчету регулируемых тарифов в сфере водоснабжения и водоотведения».

Согласно приведенным документам, затраты на эксплуатацию систем водоснабжения (тыс. руб./г.) определяются следующим образом:

$$Э_з = С_{ам} + С_{к.р} + С_{т.р} + С_{элк} + С_{фзп} + С_{св} + С_{пр}, \quad (3)$$

где $С_{ам}$ – амортизационные отчисления (принимается *0,05·К* по трубопроводам, $0{,}09 \cdot K_i^y$ по насосным станциям), $С_{к.р}$ – затраты на капитальный ремонт ($0{,}046 \cdot K_i^y$), руб./г., $С_{т.р}$ – затраты на текущий ремонт ($0{,}01 \cdot K_i^y$), руб./г., $С_{элк}$ – стоимость электроэнергии, тыс. руб./г.:

$$С_{элк} = 108 \cdot z_{элк} \cdot H \cdot x, \quad (4)$$

где $z_{элк}$ – единичная стоимость электроэнергии (руб. за кВт/ч), x – расход транспортируемых стоков (м^3/с), H – напор насосной станции (м. в. ст.).

Фонд оплаты труда и страховые взносы, составляют:

$$С_{фзп} = 1{,}5 \cdot 12 \cdot ЗП_{ср} \cdot Ч_{ср}, \quad (5)$$

где $ЗП_{ср}$– средняя заработная плата в месяц по предприятию, тыс. руб., $Ч_{ср}$ – средняя численность предприятия, обслуживающего системы водоснабжения.

В итоге эксплуатационные затраты по трубопроводам можно представить следующей формулой:

$$Э_{зi} = 0{,}056 \cdot K_{тр} + С_{элк} + 19{,}28 \cdot L_i^{0{,}77} \cdot ЗП_{ср}, \quad (6)$$

где 0,056 проценты на текущий и капитальный ремонты, L – длина трубопровода в км, $ЗП_{ср}$ – средняя заработная плата по предприятию, которое обслуживает трубопроводные системы, тыс. руб. в мес.

Если в эксплуатационных затратах учитывать амортизационные отчисления и не учитывать коэффициенты дисконтирования затрат, то формулу (1) можно привести к простому виду:

$$СЖЦ = K + T_{НКР} \cdot Э_{зi}, \quad (7)$$

где $T_{НКР}$ – наименьшее кратное сроков службы сравниваемых вариантов, год (например, из трубопроводов различного материала).

Для исследования формулы (7) рассмотрим трубопроводы стальные, полиэтиленовые (ПВХ), железобетонные (ЖБ), высокопрочный чугун (ВЧШГ) и определим для них наименьшее кратное:

$T_{НКР}$ = (25, 50, 100, 100) = 100 лет.

Для трубопроводов диаметром 1000 мм и длиной 1 км результаты расчета СЖЦ представлены в табл. 1, из которых следует, что оптимальным будет трубопровод из ПВХ, хотя по стоимости самыми дешевыми являются трубы из ЖБ (на период 2025 г.).

Таблица 1. Обоснование варианта по критерию стоимости жизненного цикла, d1000 мм
Table 1. Justification of the option based on the criterion of life cycle cost, d1000 mm

№ п/п	Название ПХГ	Срок службы	Стоимость прокладки, на 1 км, тыс. руб.	Стоимость эксплуатации, тыс. руб. в г.	Количество перекладок	Кап. вложения	Эксплуатационные затраты, тыс. руб.	Суммарные затраты, тыс. руб.
1	сталь	25	69 747,3	17 936,4	4	278 989,2	1 793640	2 072629,2
2	ПВХ	100	63 298,5	5857,7	1	63 298,5	585 770	**649 068,5**
3	ЖБ	50	**52 078,4**	8136,8	2	104 156,8	813 680	917 836,8
4	ВЧШГ	100	125 758,3	9355,5	1	125 758,3	935 550	1 061 308,3

СЖЦ с учетом коэффициентов дисконтирования можно представить следующей формулой:

$$СЖЦ = R_1^0 \cdot K + R_2^0 \cdot T_{НКР} \cdot Э_{зi}, \quad (8)$$

где R_1^0– коэффициент дисконтирования затрат, для r = 21 % уже при $T_{НКР} = 35$ лет он будет равен 0,001693, т. е. будущие затраты будут обесценены почти в 1000 раз.

Если взять наименьшее кратное из следующих значений сроков службы различных материалов труб, $T_{НКР}$ = (26, 51, 71, 93) = 8755578, то СЖЦ, например, по оптимальному варианту, составят 0,001 руб. Таким образом, при значительной кратности отдаленные затраты будут стремиться к нулю и выбрать какой-то вариант будет невозможно.

В этом случае возникает основной конфликт между эксплуатационными затратами, рассчитанными на стадии проектирования объекта, и первоначальными капиталовложениях. Если считать, что системы водоснабжения относятся к возобновляемым объектам коммунального хозяйства, то их срок службы будет стремиться к бесконечности и критерий (8) будет стремиться к нулю. В работах [14–18] в этом случае предлагается следующий критерий оценки вариантов:

$$ДЗ = K + Э_з/r, \quad (9)$$

где r норма дисконта (величина ставки рефинансирования в 2025 г. составила 21 %). В эксплуатационных затратах учитываются амортизационные отчисления. В табл. 2 для диаметра 1000 мм

и длиной 1 км проведены расчеты согласно (9) для различных возможных ставок рефинансирования, оптимальным является вариант из труб ЖБ, и только для *r* = 1 % выгодным будут трубы из ПВХ. При r = 12 % формула (9) будет представлять приведенные затраты.

Таблица 2. Обоснование варианта по критерию дисконтированных затрат (9)
Table 2. Justification of the option based on the discounted cost criterion (9)

№ п/п	Название ПХГ	Срок службы	Стоимость прокладки, на 1 км, тыс. руб.	Стоимость эксплуатации, тыс. руб. в год	r 1 %, или T = 100	r 2 %, или T = 50	r 5 % T = 25	r 12 % T = 8,333	r 21 % T = 4,76
1	сталь	25	69 747,3	9008,7	2 072629,2	520 184,3	294 964,8	249 921,3	112 628,7
2	ПВХ	100	63 298,5	6490,7	**649 068,5**	387 833,6	225 566	193 112,5	94 194,2
3	ЖБ	50	52 078,4	6271	917 836,8	**365 626,3**	**208 852,4**	**177 497,6**	**81 628,3**
4	ВЧШГ	100	125 758	10 613	1 061308,3	656 410,7	391 083,3	338 018,3	176 276,2

Проведенные численные эксперименты подтверждают, что от назначения расчетного время жизненного цикла зависит обоснованность принимаемых решений.

Построим и исследуем функцию затрат жизненного цикла в зависимости от расхода транспортируемых воды. Для единовременных капиталовложений воспользуемся НЦС-81-02-14-2025 и рассмотрим полиэтиленовые трубы марки ПЭ 100 SDR 17, срок службы 50 лет, значения капиталовложений для которых представлены в табл. 3 и на рис. 2.

Таблица 3. Расчет капиталовложений по трубопроводным системам водоснабжения применительно к условиям г. Москвы
Table 3. Calculation of capital investments for pipeline water supply systems in relation to the conditions of Moscow

Разработка сухого грунта в отвал, без крепления (группа грунтов 1–3)										
Диаметр, мм	Стоимость за 1 км, тыс. руб.	Глубина,м	Группа грунтов	$К_{пер}$	Коэф. район $К_{пер}$/зон	$К_{рег2}$ снего борьба	Сейсмика	Длина, км	Суммарная стоимость	Стоимость с НДС
160	6571,92	2	1–3	1,0	1	1	1,0	1	6571,92	7335,5
200	7674,46	2	1–3	1,0	1	1	1,0	1	7674,46	8557,02
315	10 838,08	2	1–3	1,0	1	1	1,0	1	10 838,08	12 084,46
400	14 896,92	2	1–3	1,0	1	1	1,0	1	14 896,92	16 610,07
500	21 352,20	2	1–3	1,0	1	1	1,0	1	21 352,20	23 807,7
630	28 692,72	3	1–3	1,0	1	1	1,0	1	28 692,72	31 992,38
800	42 374,62	3	1–3	1,0	1	1	1,0	1	42 374,62	47 247,7
1000	63 298,54	3	1–3	1,0	1	1	1,0	1	63 298,54	70 577,87

В итоге получены следующие зависимости:

разработка сухого грунта в отвал, без крепления (группа грунтов 1–3)

$$K1 = (41091 \cdot d^2 - 13743 \cdot \mathrm{d} + 10287) \cdot L;$$

разработка мокрого грунта в отвал, без крепления (группа грунтов 1–3)

$$K1 = (42974 \cdot d^2 - 12928 \cdot \mathrm{d} + 13580) \cdot L;$$

разработка сухого грунта в отвал, без креплений (группа грунтов 4)

$$K1 = (42924 \cdot d^2 - 11163 \cdot \mathrm{d} + 12187) \cdot L;$$

разработка мокрого грунта в отвал, без креплений (группа грунтов 4)

$$K1 = (45052 \cdot d^2 - 9635.4 \cdot \mathrm{d} + 15946) \cdot L;$$

K1 – капиталовложения в трубопровод, в тыс. руб., *d* – диаметр, в м.

Если обозначить расход воды через *x,* м^3/с, а *v* – скорость движения воды, м/с, то:

$$d = \sqrt{\frac{4x}{\pi v}}, \quad (10)$$

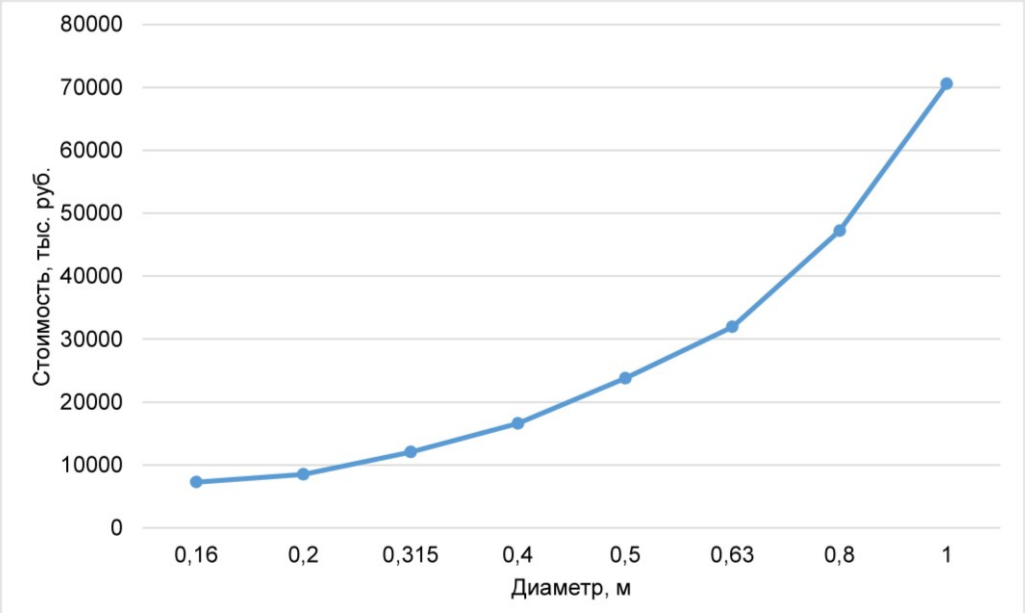


Рис. 2. Зависимость капиталовложений от диаметра трубопровода
Fig. 2. Dependence of investments on pipeline diameter

В работе [12] на основе затрат жизненного цикла определены оптимальные скорости движения сточной жидкости в напорных трубопроводах и вычисляются по следующей формуле:

$$v_i = \frac{a \cdot x_i^b}{z^c \cdot T^d}, \quad (11)$$

где *Z* – стоимость 1 кВт/ч. электроэнергии; *T* – время жизненного цикла, a, b, c, d коэффициенты аппроксимации, *x* – расход сточной жидкости, м^3/с.

При Т = 100 лет (для г. Москва):

$$v_i = \frac{4.5 \cdot x_i^{0.477}}{6{,}99^{0.287} \cdot 100^{0.14}} = 1{,}35 \cdot x_i^{0.477}$$

Подставляя данное выражение в формулу (10), получим:

$$d = 0.97 \cdot x^{0.261}.$$

разработка сухого грунта в отвал, без крепления (группа грунтов 1–3)

$$K1 = (79\,716{,}54 \cdot x^{0.523} - 13\,330{,}71 \cdot x^{0.262} + 10\,287) \cdot L;$$

разработка мокрого грунта в отвал, без крепления (группа грунтов 1–3)

$$K1 = (40\,434{,}2 \cdot x^{0.523} - 12\,540{,}16 \cdot x^{0.262} + 13\,580) \cdot L;$$

разработка сухого грунта в отвал, без креплений (группа грунтов 4)

$$K1 = (40\,387{,}19 \cdot x^{0.523} - 10\,828{,}11 \cdot x^{0.215} + 12187) \cdot L;$$

разработка мокрого грунта в отвал, без креплений (группа грунтов 4)

$$K1 = (42\,389{,}43 \cdot x^{0.523} - 9\,346{,}34 \cdot x^{0.262} + 15946) \cdot L;$$

Гидравлический расчет напорных трубопроводов из полиэтилена осуществляется по [11]:

$$h_i = 1{,}1 \cdot \text{У}_i \cdot L_i, \quad \text{У}_i = 0{,}000685 \cdot \frac{v_i^{1.774}}{d_i^{1.226}}, \quad (12)$$

где *Уi* – гидравлический уклон, *Li* – длина участка сети, в м. С учетом (12) и (11):

$$\text{у} = 0{,}000591 \cdot L_i \cdot \frac{v_i^{2.387}}{x_i^{0.613}}, \text{ или у=0.000333} \cdot L_i \cdot x_i^{0.526}$$

$$h_i \cdot x_i = 0.000333 \cdot L_i \cdot x_i^{1.526}, \text{ или в км: } h_i \cdot x_i = 0.333 \cdot L_i \cdot x_i^{1.526} \quad (13)$$

Стоимость электроэнергии, тыс. руб./г.:

$$C_{\text{элк}} = 108 \cdot z_{\text{элк}} \cdot H \cdot x, \quad (14)$$

где $z_{элк}$ – единичная стоимость электроэнергии (руб. за кВт/ч.); x – расход транспортируемых стоков (м^3/с); H – напор насосной станции (м. в. ст.).

Из формулы (13) следует, что

$$H \cdot x = h \cdot x + p \cdot Q$$

Энергия, привносимая в трубопроводный участок сети, тратится на преодоления сил трения, за вычетом энергии на излив в конце участка у потребителя, $Q = x$, p – остаточный напор у потребителя воды.

Таким образом, затраты электроэнергии можно представить как функцию транспортируемого расхода воды и длины трубопровода:

$$\text{С}_{\text{элк}} = 108 \cdot z_{\text{элк}} \cdot \left(0.333 \cdot L_i \cdot x_i^{1.526} + p_i \cdot x_i\right), \text{ L в км.} \quad (15)$$

С учетом (15) эксплуатационные затраты (6) будут определяться по следующей формуле:

$$\text{Э}_{\text{з}i} = 0{,}116 \cdot K_{\text{тр}} + 0{,}164 \cdot K_{\text{КНС}} + C_{\text{эл}} + 19{,}28 \cdot L_i^{0{,}77} \cdot \text{З}\Pi_{\text{ср}}. \quad (16)$$

Капиталовложения в насосные станции водоснабжения определяются согласно НЦС-81-02-19-2025, табл. 19-04-001. После обработки данных этой таблицы получена следующая формула:

$$K = 7\,545{,}1 + 486\,118 \cdot x_i, \quad (17)$$

С учетом стоимости жизненного цикла за 50 лет (7) и дисконтированных затрат за 4,76 лет, с помощью формулы (9), включая формулы (15) и (16), можно построить зависимости СЖЦ от расходов транспортируемой воды, которые с достаточной достоверностью (0,99) аппроксимируются линейными функциям следующего вида, где x расход в м^3/с, СЖЦ –стоимость в тыс. руб.:

ЗЖЦ(50) $= 184366 \cdot \text{x} + 142838$, для одной трубы, длиной 1 км; (18)

ДЗ(4.76) $= 38489 \cdot \text{x} + 21581$, для одной трубы, длиной 1 км. (19)

Следовательно, для поиска оптимальных структур и параметров систем водоснабжения можно воспользоваться методами линейного программирования, в частности потоковыми моделями и алгоритмом Форда Фалкерсона [9, 10].

С математической точки зрения решается следующая задача линейного программирования: требуется минимизировать функцию затрат жизненного цикла (7) или (9), которая в виде линейной аппроксимации представлена формулами (18) или (19), при выполнении условия баланса потоков транспортируемой воды в сети и ограничений на потоки по каждому участку сети:

$$\sum_{i=1}^{n} (B_i + C_i \cdot x_i) \rightarrow min, \quad (20)$$

$$A \cdot x = q_{\text{об}}. \quad (21)$$

$$\text{при } \underline{\text{в}}_i \leq x_i \leq \bar{\bar{\text{в}}}_i \quad (22)$$

Уравнение (20) – минимизируемая стоимость жизненного цикла в систему водоснабжения, уравнение (21) – условие материального баланса потоков воды в узлах схемы (А – матрица смежности узлов и участков сети). Уравнение (22) – ограничения на расходы транспортируемой воды по участкам сети, n – количество участков транспортной сети, B_i, C_i – коэффициенты аппроксимации стоимости едины транспортируемого потока по участку сети, тыс. руб. за 1 м^3, x_i – искомый поток на участке транспортной сети, л/с, $q_{об}$ – вектор расчетных расходов у абонентов, м^3/с, $\underline{\text{в}}_i$, $\bar{\bar{\text{в}}}_i$ – нижние и верхние ограничения на потоки.

Модель системы водоснабжения, представленная графом с весовыми функциями, преобразуется в транспортную сеть с узлами входа (s) и выхода (t) потоков. Для этого все вершины – абоненты замыкаются дугами на узел *t*. Эти дуги будут моделировать работу потребителей воды и на их потоки накладываются ограничения, в точности равные величинам отбора воды абонентами.

Работа метода начинается с выбора маршрута от *S* к *t*, который соответствует минимальному значению сумме величин стоимости потока $\sum_1^n (\text{B}i + \text{C}i \cdot x_i) \cdot L_i$, при $x_i = 1$ и выполнении условия (22). Этот маршрут обязательно пройдет через ветвь, которая моделирует абонент и эта ветвь «насытится». Следовательно, количество итераций будет соответствовать числу абонентов, после чего граф распадется на два несвязанных подграфа, т. е. вершина входа потоков будет не связана с

основным графом. В итоге будет получена оптимальная трасса системы водоснабжения, потоки, и, следовательно, диаметры трубопроводов.

Для иллюстрации и адаптации предлагаемого подхода к системам водоснабжения, рассмотрим проектируемый новый жилой район, для которого необходимо построить систему водоснабжения. Пусть известными величинами будут длины водопроводных участков сети и расчетные расходы воды у абонентов. На рис. 3 представлена расчетная схема в виде графа с 9 вершинами и 12 ребрами, 8 абонентов и 1 источник (вершина 1).

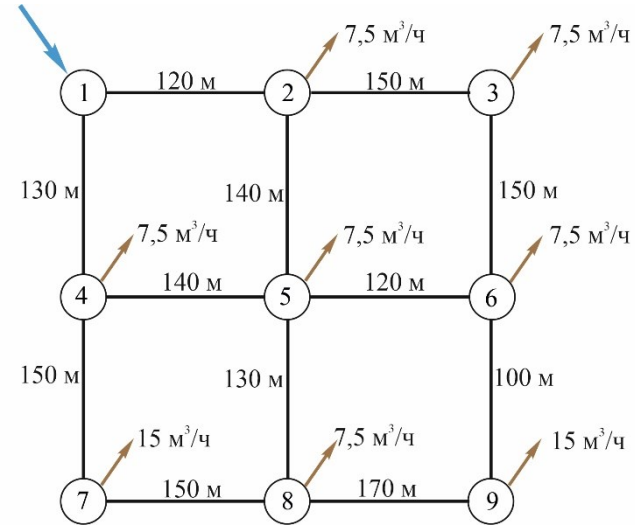


Рис. 3. Существующая схема системы водоснабжения с расходами
Fig. 3. Existing water supply system diagram with costs

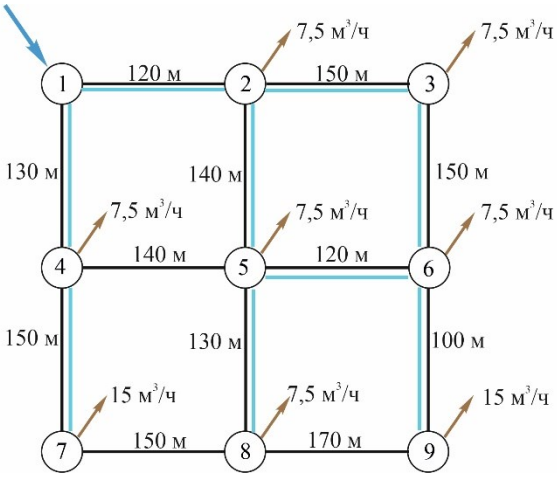


Рис. 4. Система потокораспределения, построенная с использованием алгоритма Дейкстры
Fig. 4. Flow distribution system built using Dijkstra's algorithm

На рис. 4 представлен вариант распределения потоков в виде дерева кратчайших расстояний (голубым цветом), полученный на основе алгоритма Дейкстры [3]. На рис. 5 представлена транспортная сеть, в которой каждый абонент моделируется дугой, замыкаемой на узел выхода потоков t. Для каждой такой фиктивной ветви приписаны ограничения на потоки, равные нагрузкам абонентов.

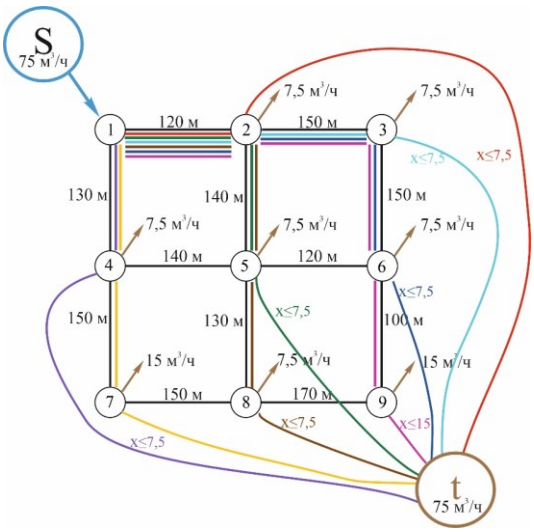


Рис. 5. Транспортная сеть системы водоснабжения
Fig. 5. Water supply system transport network

В табл. 4 приведены оптимальные маршруты от S–t и их максимальные пропускные способности. Следует отметить, что оптимальный маршрут будет обязательно проходить через ветвь, которая моделирует какой-то абонент и максимальный поток будет соответствовать нагрузки этого

абонента. Перед построением следующего оптимального маршрута, дуга, которая моделирует рассмотренный абонент, удаляется из транспортной сети, и все вычисления повторяются до момента отсутствия всех дуг-абонентов и распада графа на основной и с вершиной t (рис. 6).

Таблица 4. Определение потоков водоснабжения заданных объектов
Table 4. Determination of water supply flows for specified objects

Обозначение участка	Наикратчайший путь	Потокораспределение, q_i	Максимальный поток на участке, q_{max}
	$S \to 1 \to 2 \to t$	$7{,}5 \cdot 1{,}3 = 9{,}75$	7,5
	$S \to 1 \to 4 \to t$	$7{,}5 \cdot 1{,}4 = 10{,}5$	7,5
	$S \to 1 \to 2 \to 5 \to t$	(7,5·1,3) + (7,5·1,5)= 21	7,5
	$S \to 1 \to 2 \to 3 \to t$	(7,5·1,3) + (7,5·1,6) = 21,75	7,5
	$S \to 1 \to 4 \to 7 \to t$	(15·1,4) + (15·1,6) = 45	15
	$S \to 1 \to 2 \to 5 \to 8 \to t$	(7,5·1,3) + (7,5·1,5) + (7,5·1,4) = 31,5	7,5
	$S \to 1 \to 2 \to 3 \to 6 \to t$	(7,5·1,3) + (7,5·1,6) + (7,5·1,6) = 33,75	7,5
	$S \to 1 \to 2 \to 3 \to 6 \to 9 \to t$	(15·1,3) + (15·1,6) + (15·1,6) + (15·1) = 82,5	15

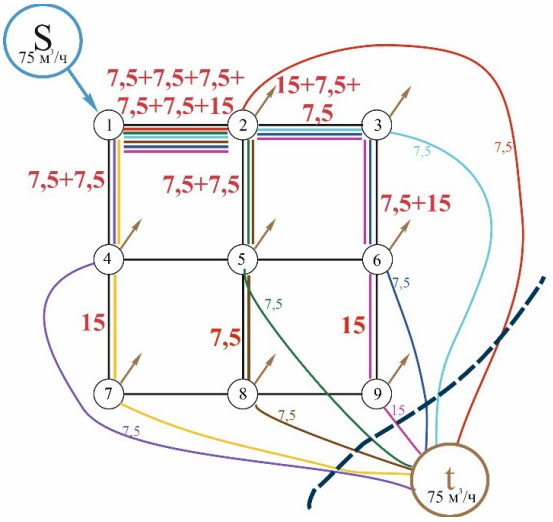


Рис. 6. Транспортная сеть системы водоснабжения с разрывом графов
Fig. 6. Water supply system transport network with graph break

Следующий этап заключается в определении расходов по ветвям схемы путем их сложения от наложения каждого оптимального маршрута. Итоги представлены в табл.5

Таблица 5. Определение расходов воды на заданных участках
Table 5. Determination of water consumption in specified areas

Обозначение участка	Наикратчайший путь	Расход на участке Q_i
	$S \to 1 \to 2 \to t$	7,5+7,5+7,5+7,5+7,5+15 = 52,5 м³/ч
	$S \to 1 \to 4 \to t$	7,5+15=22,5 м³/ч
	$S \to 1 \to 2 \to 5 \to t$	52,5+15=67,5 м³/ч
	$S \to 1 \to 2 \to 3 \to t$	52,5+30 = 82,5 м³/ч
	$S \to 1 \to 4 \to 7 \to t$	22,5 + 15 = 37,5 м³/ч
	$S \to 1 \to 2 \to 5 \to 8 \to t$	52,5 + 15 + 7,5 = 75 м³/ч
	$S \to 1 \to 2 \to 3 \to 6 \to t$	52,5 + 30 + 22,5 = 105 м³/ч
	$S \to 1 \to 2 \to 3 \to 6 \to 9 \to t$	105 + 15 = 120 м³/ч

В итоге, определена оптимальная по стоимости жизненного цикла схема системы водоснабжения, она будет соответствовать древовидной структуре, и «дереву» кратчайших расстояний, что справедливо для новой сети водоснабжения без учета фактора надежности.

Следует отметить, если бы оптимизировалась существующая и реконструируемая система водоснабжения, то на трубопроводные участки сети накладывались ограничения по потокам (22) и уже решение бы было другое и схема водоснабжения могла бы быть кольцевой. Согласно СП 31.13330.2021 [17–20] при построении кольцевых систем водоснабжение должны быть резервирующие ветки на случаи аварии. Соответственно возникает потребность в построении надежного графа и проверки системы на аварийность.

Для формирования резервных магистралей относительно уже полученной оптимальной древовидной схемы системы водоснабжения предлагается следующий подход.

Моделируются аварийные отключения каждого участка выбранной схемы и на основе алгоритма Дейкстра [9], начиная от источника водоснабжения, стоится «дерево» кратчайших расстояний, для которого определяются потоки движения воды.

Таких «деревьев» будет столько, сколько будет моделироваться аварийных отключений для выбранной оптимальной схемы. В итоге формируется матрица возможных расходов по всем участкам кольцевой сети (табл. 6), где второй столбец обозначает отключаемые участки. Строки показывают расходы по другим участкам, включая резервные.

Определяются максимальные и средние значения расходов для каждого участка сети.

На основании этих значений расходов, используя формулу (11), определяются оптимальные диаметры.

Таблица 6. Построение надежного графа
Table 6. Building a robust graph

Номер участка	Участок	Идеальный участок	1 1→2	2 2→3	3 1→4	5 2→5	7 3→6	8 4→7	10 5→8	12 6→9	Q_{max}	$Q_{\text{сред.}}$
1	1→2	52,5		52,5	52,5	15	52,5	15	45	52,5	52,5	37,5
2	2→3	30	0		30	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	30	10,8
3	1→4	22,5	7,5	22,5		52,5	22,5	60	22,5	22,5	60	25,8
4	4→5	**0**	52,5	0	7,5	22,5	0	52,5	0	0	52,5	15
5	2→5	15	7,5	45	30		45	45	30	37,5	45	28,3
6	5→6	**0**	30	30	0	22,5	22,5	22,5	22,5	7,5	30	17,5
7	3→6	22,5	7,5	7,5	22,5	0		0	0	0	22,5	6,7
8	4→7	15	15	15	0	7,5	15		22,5	37,5	37,5	14,2
9	7→8	**0**	0	0	15	0	0	15	7,5	22,5	22,5	6,7
10	5→8	7,5	7,5	7,5	22,5	7,5	7,5	22,5		22,5	22,5	11,7
11	8→9	**0**	0	0	0	0	0	0	0	15	15	1,7
12	6→9	15	15	15	15	15	15	15	15		15	13,3

Для резервных участков рационально для подбора диаметров трубопроводов использовать средние значения расхода, а для основных участков их максимальные значения расходов. С помощью методики [19, 20] был рассчитан диаметр труб водоснабжения для г. Москвы на 100 лет (время жизненного цикла по ГОСТ Р 58785–2019):

$$d_{100} = \sqrt{\frac{4x}{\pi v}} = \sqrt{\frac{4x}{3{,}14 \cdot 16x^{0{,}52}}} = \sqrt{0{,}8x^{0{,}48}} = 0{,}89x^{0{,}24} \qquad (23)$$

С учетом ставки дисконтирования в 21 %, срок аккумулирования эксплуатационных затрат будет 4,76 лет, тогда для подбора диметра необходимо будет воспользоваться следующей формулой:

$$d_{4{,}76} = \sqrt{\frac{4x}{3{,}14 \cdot 2{,}48x^{0{,}52}}} = \sqrt{0{,}51x^{0{,}48}} = 0{,}713x^{0{,}24}\text{[мм]} \qquad (24)$$

Итоги расчетов сведены в табл. 7.

Таблица 7. Подбор диаметров для заданной системы водоснабжения
Table 7. Selection of diameters for a given water supply system

Номер участка		Расход Q_i [м^3/ч]	Расход Q_i [м^3/с]	Расчетный диаметр $d_{\text{р.}}$ [м]
1	1→2	52,5	0,015	0,26
2	2→3	30	0,008	0,22
3	1→4	60	0,017	0,27
4	4→5	15	0,004	0,24
5	2→5	45	0,0125	0,19
6	5→6	17,5	0,005	0,2
7	3→6	22,5	0,006	0,21
8	4→7	37,5	0,01	0,24
9	7→8	6,7	0,002	0,16
10	5→8	22,5	0,006	0,21
11	8→9	1,7	0,0005	0,12
12	6→9	15	0,004	0,2

Применительно к условиям г. Москвы получены следующие параметры водопроводной сети, которые представлены в табл. 8.

Таблица 8. Расчет капиталовложений по трубопроводам водоснабжения применительно к условиям г. Москвы
Table 8. Calculation of capital investments in water supply pipelines in relation to the conditions of Moscow

Номер участка	Расчетный диаметр $d_{\text{р.}}$ (м)	Протяженность участка (км)	Диаметр SDR17 (мм)	Стоимость за 1 км, тыс. руб.	Глубина, м	Группа грунтов	Суммарная стоимость	
1	1→2	0,26	0,12	280	7049,66	2	1–3	845, 96
2	2→3	0,22	0,15	225	5537,8	2	1–3	830,67
3	1→4	0,27	0,13	280	7049,66	2	1–3	916,46
4	4→5	0,24	0,14	250	6175,98	2	1–3	864,64
5	2→5	0,19	0,14	200	5537,8	2	1–3	775,29
6	5→6	0,2	0,12	200	5537,8	2	1–3	664,54
7	3→6	0,21	0,15	225	6175,98	2	1–3	926,4
8	4→7	0,24	0,15	250	6175,98	2	1–3	926,4
9	7→8	0,16	0,15	160	5537,8	2	1–3	830,67
10	5→8	0,21	0,13	225	6175,98	2	1–3	802,88
11	8→9	0,12	0,17	125	4797,3	2	1–3	815,54
12	6→9	0,2	0,1	200	5537,8	2	1–3	553,78
							Итог:	9753,23
							Итог с учетом НДС 20 %	11 703,88

Таким образом, в процессе проектирования новой или развиваемой системы водоснабжения необходимо заглядывать в будущие периоды ее эксплуатации и оценивать стоимость всего жизненного цикла и учитывать прогнозы по новым материалам, стоимости электроэнергии, вариативности нагрузок потребления воды, изменчивости ставок дисконтирования затрат, неопределенности численности населения и др. факторов.

Создаваемая система водоснабжения должна быть гибкой, управляемой и способной с минимальными затратами адаптироваться к меняющимся социальным и экономическим условиям ее эксплуатации.

Решения такой сложной и комплексной задачи требует цифровизации и создания цифровых двойников системы, использования современных методов оптимизации, искусственного интеллекта, теории нечетких множеств и принятия решения, что и является предметом дальнейших исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

1. Обоснование и оптимизацию перспективных схем развития систем водоснабжения следует производить на основе стоимости их жизненного цикла.

2. Расчетное время жизненного цикла следует назначать исходя из прогнозных значений ставок дисконтирования затрат.

3. Для оценки и решения схемно-структурных задач оптимизации систем водоснабжения предлагается методика, основанная на потоковых моделях и построении оптимального графа резервирования кольцевых сетей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Чупин В.Р. Современное состояние, перспективы и пути развития систем водоснабжения и водоотведения, методы их расчета, построения и организации эксплуатации // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 2. С. 359–368. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-359-368. EDN: BYRIND.
2. Чупин В.Р., Бобер А.А. Разработка методического обеспечения для формирования перспективных схем систем водоснабжения и водоотведения малонаселенных территорий // Инвестиции. Строительство. Недвижимость: новые технологии и целевые приоритеты развития – 2023. Материалы V Международной научно-практической конференции (г. Иркутск, 27 апреля 2023 г.). Иркутск, 2023. С. 461–466. EDN: QYPNTV.
3. Майзель И.В., Бобер В.А. Интенсификация работы систем водоснабжения и водоотведения г. Нижнеудинска // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2020. Т. 10. № 4. С. 578–587. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2020-4-578-587. EDN: ECAUGA.
4. Чупин В.Р., Душин А.С. Оптимизация параметров новых и реконструируемых систем подачи и распределения воды с учетом бесперебойного водоснабжения потребителей // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 4. С. 790–803. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-4-790-803. EDN: VEGFIC.
5. Чупин В.Р., Фам Н.В., Чупин Р.В. Оптимизация структуры и параметров районных систем водоснабжения с учетом трубопроводного и автомобильного транспорта воды // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2019. № 2. С. 42–57. EDN: ZXTYMX.
6. Пешков В.В., Бобер В.А., Шлепнев О.К. Учет неопределенности водопотребления при оптимизации перспективных схем развития систем водоснабжения и водоотведения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 3. С. 446–451. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-446-451. EDN: EIKRUB.
7. Чупин В.Р., Абросимова И.А. Обоснование параметров стоимости жизненного цикла строительства и эксплуатации систем водоснабжения // Актуальные вопросы строительства: взгляд в будущее. Материалы III Всеросс. науч.-практ. конф. (г. Красноярск, 23–25 октября 2024 г.). Красноярск, 2024. С. 608–611. EDN: HRHQBF.
8. Чупин В.Р. Управление развитием систем водоснабжения и водоотведения в условиях вариативности численности населения и перспективного водопотребления // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2021. № 12. С. 41–57. https://doi.org/10.32683/0536-1052-2021-756-12-41-57. EDN: QTFALU.
9. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход / пер. с англ. Э.В. Вершкова, В.И. Коновальцева. М: Мир, 1978. 432 с.
10. Арутюнова Н.К., Мубараков Р.Р. Разработка веб-системы для обучения решению задач теории графов по теме «транспортные сети» // Цифровые инструменты в образовании. Сб. статей по материалам Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Сургут, 06–07 апреля 2023 г.). Сургут, 2023. С. 22–25. EDN: CYZJMR.
11. Чупин В.Р., Душин А.С. Оценка и повышение эксплуатационной надежности системы подачи и распределения воды в микрорайоне Иркутск-II г. Иркутска // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 1. С. 112–125. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-1-112-125. EDN: XGWGEI.
12. Чупин Р.В., Мороз М.В., Бобер В.А. Обоснование диаметров трубопроводных систем водоснабжения и водоотведения на основе минимизации затрат жизненного цикла // Водоснабжение и санитарная техника. 2022. № 4. С. 52–58. https://doi.org/10.35776/VST.2022.04.07. EDN: CIOYJH.
13. Чупин В.Р. Управление развитием систем водоснабжения и водоотведения в условиях вариативности численности населения и перспективного водопотребления // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2021. № 12. С. 41–57. https://doi.org/10.32683/0536-1052-2021-756-12-41-57. EDN: QTFALU.
14. Шлафман В.В. Проектирование под заданную ценность или достижимая эффективность технических решений – что это? М.: Издательский дом ВСТ, 2024. 208 с.

15. Чупин В.Р., Мартьянов В.И., Матвеева М.В. Оптимизация параметров систем водоснабжения и водоотведения на основе минимизации затрат их жизненного цикла // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 104–113. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-104-113. EDN: RGVOZN.
16. Чупин Р.В., Мороз М.В., Чупин В.Р. Проектирование систем водоснабжения и водоотведения в условиях нечетких значений перспективного водопотребления и численности населения // Водоснабжение и санитарная техника. 2022. № 11. С. 16–25. https://doi.org/10.35776/VST.2022.11.02. EDN: XXZIEA.
17. Чупин В.Р., Пешков В.В. Выбор параметров трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения на основе минимизации затрат их жизненного цикла // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2021 г. М.: Изд-во АВС, 2022. Т. 2. С. 469–479. EDN: JLEBFC.
18. Чупин В.Р., Бобер В.А. Оптимизация структуры и параметров напорно-безнапорных трубопроводных систем // Автоматизация и информатизация ТЭЦ. 2023. № 12. С. 65–69. https://doi.org/10.33285/2782-604X-2023-12(605)-65-69. EDN: KELZRE.
19. Душин А.С. Оценка надежности снабжения водой потребителей с учетом сезонных изменений условий функционирования системы подачи и распределения воды // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 4. С. 624–637. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-4-624-637. EDN: KEKFZH.
20. Душин А.С. Оценка адекватности модели вероятностных отборов воды и распределения потоков реальным процессам, происходящим в системах подачи и распределения воды // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 40–51. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-40-51. EDN: DLWKPQ.

REFERENCES

1. Chupin V.R. Current State and Prospects of Water Supply and Sanitation Systems, Methods for their Calculation, Design, and Operation. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2023;13(2):359-368. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-359-368. EDN: BYRIND.
2. Chupin V.R., Beaver A.A. Development of Methodological Support for The Formation of Promising Schemes for Water Supply and Sanitation Systems in Sparsely Populated Areas. In: *Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost': novye tekhnologii i tselevye prioritety razvitiya – 2023. Materialy V Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Investments. Construction. Real Estate: New Technologies and Target Development Priorities – 2023. Proceedings of The V International Scientific and Practical Conference.* 27 April 2023, Irkutsk. Irkutsk; 2023. P. 461–466. (In Russ.). EDN: QYPNTV.
3. Maizel I.V., Bober V.A. Intensification of Water Supply and Sanitation Systems in The City of Nizhneudinsk. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2020;10(4):578-587. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2020-4-578-587. EDN: ECAUGA.
4. Chupin V.R., Dushin A.S. Parameter Optimisation for New and Reconstructed Systems of Water Supply and Distribution for Ensuring Consumer's Uninterrupted Water Supply. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2019;9(4):790-803. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-4-790-803. EDN: VEGFIC.
5. Chupin V.R., Fam N.M., Chupin R.V. Optimization of The Structure and Parameters of District Water Supply Systems Taking into Account Pipeline and Automobile Transport. *News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2019;2:42-57. (In Russ.). EDN: ZXTYMX.
6. Peshkov V.V., Bober V.A., Shlepnev O.K. Addressing Uncertainty in Water Consumption When Optimising Promising Water Supply and Disposal Schemes. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2021;11(3):446-451. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-446-451. EDN: EIKRUB.
7. Chupin V.R., Abrosimova I.A. Justification of The Parameters of the Life Cycle Cost of Construction and Operation of Water Supply Systems. In: *Aktual'nye voprosy stroitel'stva: vzgljad v budushhee. Materialy III Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii = Current Issues in Construction: A Look into The Future. Proceedings of The III All-Russian Scientific and Practical Conference.* 23–25 October 2024, Krasnoyarsk. Krasnoyarsk; 2024. P. 608–611. (In Russ.). EDN: HRHQBF.
8. Chupin V.R. Management of The Development of Water Supply and Sanitation Systems in The Context of Population Variability and Prospective Water Consumption. *News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2021;12:41-57. (In Russ.). https://doi.org/10.32683/0536-1052-2021-756-12-41-57. EDN: QTFALU.
9. Kristofides N. Graph Theory. An Algorithmic Approach, 1978, 432 (Russ. ed.: *Teoriya grafov. Algoritmicheskii podkhod.* Moscow: Mir, 1978. 432 p.).
10. Arutyunova N.K., Mubarakov R.R. Development of A Web System for Teaching Solving Graph Theory Problems On the Topic of “Transport Networks”. In: *Tsifrovye instrumenty v obrazovanii. Sbornik statei po materialam Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem = Digital Tools in*

Education. Collection of Articles Based On the Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. 06–07 April 2023, Surgut. Surgut; 2023. P. 22–25. (In Russ.). EDN: CYZJMR.
11. Chupin V.R., Dushin A.S. Assessment and Improvement of the Operational Reliability of the Water Supply and Distribution System in The Irkutsk-II Microdistrict of the Irkutsk City. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2021;11(1):112-125. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-1-112-125. EDN: XGWGEI.
12. Chupin R.V., Moroz M.V., Bober V.A. Substantiation of The Diameters of Pipelines of Water Supply and Wastewater Disposal Systems Based On Minimizing the Costs of Their Life Cycle. *Water Supply and Sanitary Technique.* 2022;4:52-58. (In Russ.). https://doi.org/10.35776/VST.2022.04.07. EDN: CIOYJH.
13. Chupin V.R. Management of The Development of Water Supply and Sanitation Systems in The Context of Population Variability and Prospective Water Consumption. *News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2021;12:41-57. (In Russ.). https://doi.org/10.32683/0536-1052-2021-756-12-41-57. EDN: QTFALU.
14. Shlafman V.V. *Design for A Given Value or Achievable Efficiency of Technical Solutions – What Is It?* Moscow: VST Publishing House, 2024. 208 p. (In Russ.).
15. Chupin V.R., Mart'yanov V.I., Matveeva M.V. Optimization of Systems of Water Supply and Sewerage by Minimizing Their Life Cycle Costs. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2022;12(1):104-113. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-104-113. EDN: RGVOZN.
16. Chupin R.V., Moroz M.V., Chupin V.R. Designing Water Supply and Wastewater Disposal Systems in Conditions of Fuzzy Values of Prospective Water Consumption and Population Base. *Water Supply and Sanitary Technique.* 2022;11:16-25. (In Russ.). https://doi.org/10.35776/VST.2022.11.02. EDN: XXZIEA.
17. Chupin V.R., Peshkov V.V. Selection of Pipeline Parameters for Water Supply and Sanitation Systems Based On Minimization of Their Life Cycle Costs. In: *Fundamental, Exploratory and Applied Research of RAASN On Scientific Support for The Development of Architecture, Urban Planning and The Construction Industry of the Russian Federation in 2021.* Moscow: ABC Publishing House, 2022. Vol. 2. P. 469–479. (In Russ.). EDN: JLEBFC.
18. Chupin V.R., Bober V.A. Optimization of Structure and Parameters of Pressure-Free Flow Pipeline Systems. *Automation and Informatization of the Fuel and Energy Complex.* 2023;12:65-69. (In Russ.). https://doi.org/10.33285/2782-604X-2023-12(605)-65-69. EDN: KELZRE.
19. Dushin A.S. Assessment of Reliability of Supplying Water to Consumers Given the Seasonal Changes in Operating Conditions of Water Transmission and Distribution Network. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2021;11(4):624-637. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-4-624-637. EDN: KEKFZH.
20. Dushin A.S. Assessment of The Adequacy of Probabilistic Water Sampling and Flow Distribution Model to The Real Processes in The Water Supply and Distribution Systems. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2022;12(1):40-51. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-40-51. EDN: DLWKPQ.

Информация об авторах

Абросимова Иванна Александровна,
аспирант,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: abrosimovaia94@gmail.com

Бобер Виктор Антонович,
аспирант,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
✉e-mail: viktorbober200400@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-8340-6222
Author ID: 504512

Information about the authors

Ivanna A. Abrosimova,
Postgraduate Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
e-mail: abrosimovaia94@gmail.com

Viktor A. Bober,
Postgraduate Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
✉e-mail: viktorbober200400@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-8340-6222
Author ID: 504512

Ярыгин Роман Николаевич,
аспирант,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: yarygin.r@hydrig.ru

Баярсайхан Мэндбаяр,
исследователь,
лаборатория энергетических исследований,
Физико-технический институт
Монгольской академии наук,
210651, г. Улан-Батор, ул. Энхтайван, 54б, Монголия,
аспирант,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: mendbayarb@mas.ac.mn
https://orcid.org/0009-0000-7930-7512

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 26.02.2025.
Одобрена после рецензирования 11.03.2025.
Принята к публикации 12.03.2025.

Roman N. Yarygin,
Postgraduate Student,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: yarygin.r@hydrig.ru

Bayarsaikhan Mendbayar,
Researcher,
Energy Research Laboratory,
Institute of Physics and Technology
Mongolian Academy of Sciences,
54B Enkhtaivan St., Ulaanbaatar 210651,
Mongolia,
Postgraduate Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia
e-mail: mendbayarb@mas.ac.mn
https://orcid.org/0009-0000-7930-7512

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 26.02.2025.
Approved after reviewing 11.03.2025.
Accepted for publication 12.03.2025.

Научная статья
УДК 681.12
EDN: XYCAAB
DOI: 10.21285/2227-2917-2025-2-236-243

Существующие методы накопления, систематизации и обработки массива больших данных в отрасли жилищно-коммунального хозяйства и использования энергоресурсов

А.А.А Адегбола[1], М.Ю.Толстой[2]✉, К.И.Чижик[3]
[1,2]Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия
[3]Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

Аннотация. Данная работа является исследованием существующих методов накопления, систематизации и обработки больших данных в жилищной отрасли России с возможностью их использовании для повышения эффективности использования энергетических ресурсов. Управление энергопотреблением зданий представляет собой серьезную проблему из-за высокого потребления энергии. Задача состоит в том, чтобы эффективно использовать энергетические ресурсы в жилых зданиях. Целью исследования является выявление лучших практик, инновационных решений и соответствующих тематических исследований, которые могут способствовать более эффективному управлению энергопотреблением в жилищном секторе России. Учитываются проблемы, преимущества и ограничения методов, изучаемых в статье. Была использована современная база повышения качества и развитие цифровизации в жилищно-коммунальном хозяйстве страны на основе Общероссийского отраслевого объединения работодателей сферы жизнеобеспечения. Приведены рекомендации, такие как развитие инновационных технологий для сбора и анализа данных, разработка моделей и методов прогнозирования, изучение различных факторов, влияющих на энергоэффективность и управление ресурсами в жилищном секторе. Следует обратить внимание на подготовку кадров, обладающих соответствующими компетенциями для использования своих знаний и умений в отрасли жилищно-коммунального хозяйства.

Ключевые слова: энергоэффективность, накопление, систематизация, обработка, большие данные, энергоресурсы, качество услуг

***Для цитирования*:** Адегбола А.А.А., Толстой М.Ю., Чижик К.И. Существующие методы накопления, систематизации и обработки массива больших данных в отрасли жилищно-коммунального хозяйства и использования энергоресурсов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 2. С. 236–243. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-236-243. EDN: XYCAAB.

Original article

Existing methods of accumulation, systematization and processing of big data in the field of housing and communal services and the use of energy resources

Akilow A.A. Adegbola[1], Mikhail Yu. Tolstoy[2]✉, Konstantin I. Chizhik[3]
[1,2]Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia
[3]Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Abstract. This work is a study of existing methods of accumulation, systematization and processing of big data in the Russian housing industry with the possibility of using them to improve the efficiency of energy resources. Energy management in buildings is a major challenge due to high energy consumption. The task is to efficiently use energy resources in residential buildings. The purpose of the study is to identify best practices, innovative solutions and relevant case studies that can contribute to more efficient

© Адегбола А.А.А., Толстой М.Ю., Чижик К.И., 2025

energy consumption management in the Russian housing sector. The problems, advantages and limitations of the methods studied in the article are taken into account. A modern basis for improving the quality and development of digitalization in the country's housing and communal services was used on the basis of the All-Russian Industrial Association of Life Support Employers. Recommendations are given, such as the development of innovative technologies for data collection and analysis, the development of models and forecasting methods, and the study of various factors affecting energy efficiency and resource management in the housing sector. Attention should be paid to the training of personnel with appropriate competencies to use their knowledge and skills in the field of housing and communal services.

Keywords: energy efficiencies, accumulation, systematization, processing, big data, energy resources, quality of services

For citation: Adegbola A.A.A., Tolstoy M.Yu., Chizhik K.I. Existing methods of accumulation, systematization and processing of big data in the field of housing and communal services and the use of energy resources. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2025;15(2):236-243. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-236-243. EDN: XYCAAB.

ВВЕДЕНИЕ

Жилищная отрасль в России играет важнейшую роль в экономике страны. Оно охватывает строительство, продажу, аренду и управление жилой и коммерческой недвижимостью. За последние десятилетия жилищная отрасль России претерпела значительные изменения и вызовы. После распада Советского Союза этот сектор столкнулся с такими проблемами, как приватизация жилья, нехватка доступного жилья, недостаточная инфраструктура и низкое качество строительства. Были проведены реформы, направленные на стимулирование развития жилищной отрасли. Правительственные инициативы, такие как национальная жилищная программа и программа модернизации жилья, были запущены с целью стимулирования строительства нового жилья, улучшения качества существующего жилья и содействия доступу к доступному жилью. Кроме того, на жилищный сектор влияют такие экономические факторы, как рост населения, урбанизация, колебания цен на недвижимость, процентные ставки по ипотечным кредитам и налоговая политика. Они влияют на спрос и инвестиционные решения в этом секторе.

Кроме того, жилищная отрасль также сталкивается с экологическими и энергетическими проблемами. Необходимость снижения энергопотребления и повышения энергоэффективности зданий стала приоритетом благодаря инициативам по содействию строительству экологически чистого и устойчивого жилья. Здания являются крупнейшими потребителями энергии, на их долю приходится более трети конечного потребления энергии во всем мире. С января текущего года максимальный уровень расхода тепла на обогрев зданий должен составлять 60 % от базового уровня, указанного в приказе Минстроя России № 1550/пр от 1 ноября 2017 г [1]. Поэтому при проектировании и строительстве зданий большое внимание уделяется энергоэффективности [2, 3].

Эффективное использование энергетических ресурсов имеет важное значение для снижения затрат, минимизации воздействия на окружающую среду и обеспечения долгосрочной устойчивости жилищного хозяйства. За счет оптимизации энергопотребления можно добиться значительной финансовой экономии.

Следует учитывать кадровый потенциал, занимающийся проектированием, монтажом и эксплуатацией объектов коммунальной инфраструктуры [13].

Особое внимание к кадровому вопросу, занимающимся искусственным интеллектом в сфере жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), уделяет Российский союз промышленников и предпринимателей (РСПП), а также Общероссийское отраслевое объединение работодателей сферы жизнеобеспечения (ОООР ЖКК).

ОООР ЖКК передало комиссии РСПП по ЖКХ предложения по повышению уровня кадрового обеспечения в отрасли жилищно-коммунального хозяйства. Данное предложение получили министерство строительства и ЖКХ, а также представители Фонда развития территорий:

1. О подходах к формированию комплексной программы модернизации коммунальной инфраструктуры в Российской Федерации до 2030 г. в целях повышения эффективности ее реализации;

2. О ходе формирования субъектами Российской Федерации в автоматизированной информационной системе публично-правовой компании «Фонд развития территорий» (ФРТ) комплексных планов модернизации коммунальной инфраструктуры (МКИ).

ФРТ представил разъяснения в части включения мероприятий в программу МКИ: о необходимых изменениях в регулировании деятельности транзитных организаций в сфере водоснабжения и водоотведения и о влиянии вопросов налогового регулирования на перспективы и устойчивость развития предприятий жилищно-коммунального хозяйства.

ОООР ЖКХ представил позицию о том, что при реализации программ МКИ и национального проекта «Инфраструктура для жизни» нельзя забывать о формировании кадрового потенциала ЖКХ, в первую очередь на основе повышения финансовой мотивации для работы в отрасли, где уровень заработной платы не может конкурировать с другими сферами экономики [14].

МЕТОДЫ

Анализ существующих методов накопления, систематизация и обработка большого массива данных в сфере жилищного хозяйства являются основной целью данной статьи.

Накопление больших данных в жилищном секторе – важный шаг для эффективного использования ресурсов и оптимизации процессов. В этом контексте накопление больших данных означает сбор и хранение большого объема информации, которая может включать данные о потреблении энергии, состоянии зданий, условиях жизни и других параметрах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В жилищном секторе используют несколько источников данных. Одним из таких источников являются интеллектуальные счетчики, которые записывают данные о потреблении энергии в режиме реального времени. Эти данные могут включать информацию о потреблении электроэнергии, газа, воды и других ресурсов. Другими источниками данных могут быть датчики, установленные в зданиях, или использование дистанционного мониторинга, позволяющего получать данные о работе энергетического оборудования удаленно. Для сбора данных в жилищном секторе можно использовать различные методы. Некоторые компании используют автоматизированные системы мониторинга, которые собирают данные о потреблении энергии на разных уровнях домохозяйств в режиме реального времени с помощью интеллектуальных счетчиков. Эти данные затем сохраняются в централизованных базах данных или распределенных файловых системах. Еще одним методом сбора информации является использование удаленного мониторинга. Эта технология позволяет получать данные о работе энергетического оборудования удаленно. Одной из специфических проблем, связанных с накоплением больших данных в российском жилищном секторе, является технологическая инфраструктура. Внедрение соответствующей технологической инфраструктуры для сбора и хранения больших данных может оказаться сложной задачей. Это требует значительных инвестиций в оборудование, системы хранения и сети связи. Еще одной проблемой является обеспечение конфиденциальности данных. Сбор больших данных предполагает сбор личной информации о жителях, что вызывает проблемы конфиденциальности. Важно принять меры по защите данных. Также стоит учитывать затраты на сбор и хранение данных. Накопление больших данных может привести к высоким затратам, особенно с точки зрения инфраструктуры, технологий и квалифицированного персонала. Эти затраты могут стать проблемой для жилищных компаний в России, особенно для малых и средних компаний. Еще одна проблема – обеспечение совместимости систем. Совместимость систем представляет собой серьезную проблему при накоплении больших данных.

В системах сбора данных, используемых разными компаниями, могут быть различия, что затрудняет объединение и анализ данных из разных источников. Также важно решить вопросы осведомленности и принятия методов сбора данных. Повышение осведомленности и признание методов накопления больших данных может стать проблемой в России. Возможно, возникнет необходимость повысить осведомленность о преимуществах больших данных в жилищном секторе и поощрении их широкого использования. Организация больших данных в жилищном секторе – важный шаг для эффективной работы с этой информацией и достижения определенных результатов. Он включает в себя процессы предварительной обработки данных, классификации и категоризации, а также интеграцию данных из разных источников. Предварительная обработка данных – процесс, включающий в себя очистку данных, которая находит, удаляет и заменяет неверные или отсутствующие данные для консолидации их в единый формат, а также структурирует их для удобства использования [4]. При предварительной обработке могут использоваться различные методы, такие как фильтрация, обнаружение локальных выбросов и внезапных изменений. Это облегчает выявление важных тенденций, процессы сглаживания и удаления трендов, которые помогают удалить шум и данные полиномиальных тенденций, а также масштабирование, которое изменяет границы данных. После предварительной обработки данных следует их классификация и категоризация. Классификация организует

данные в группы или категории в соответствии с определенными параметрами или характеристиками [5]. Например, данные о потреблении энергии можно классифицировать по типу ресурса (электричество, газ, вода), по периоду (день, неделя, месяц) или по географическому местоположению (район, город, регион). По мере увеличения объема и сложности данных, а также того, что организации все больше полагаются на решения, основанные на данных, классификация становится все более важным инструментом для обеспечения успешного управления данными. Категоризация данных помогает группировать их в более широкие категории или сегменты. Например, данные о потреблении энергии можно классифицировать по типу здания (жилое, коммерческое), размеру (квартира, дом, офисное здание) или классу энергоэффективности. Интеграция данных из разных источников – важный шаг в организации больших данных в жилищном секторе.

Целью интеграции является объединение всех этих данных из разных источников (структурированных или неструктурированных, пакетных или поточных, онлайн или оффлайн и т. д.), чтобы позволить лицам, принимающим решения, иметь общее видение [6]. Так, данные могут собираться из различных источников, таких как счетчики, датчики, системы управления зданием и др. Это позволяет объединить информацию из этих источников в единую систему, дав более полную картину о состоянии и эффективности использования ресурсов в жилищном строительстве. В процессе интеграции данных (рис. 1) используются различные методы и технологии, такие как базы данных, системы управления данными, процессы ETL (извлечение, преобразование, загрузка) и другие инструменты интеграции данных.

Как пример, хорошо представлена схема сбора и обработки данных научно-технического центра «КУМИр» (рис. 2).

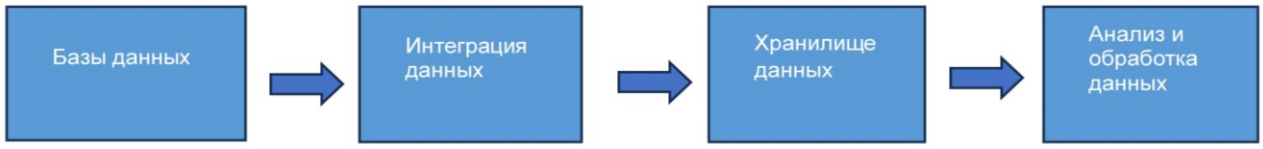


Рис. 1. Процесс интеграции данных
Fig. 1. The data integration process

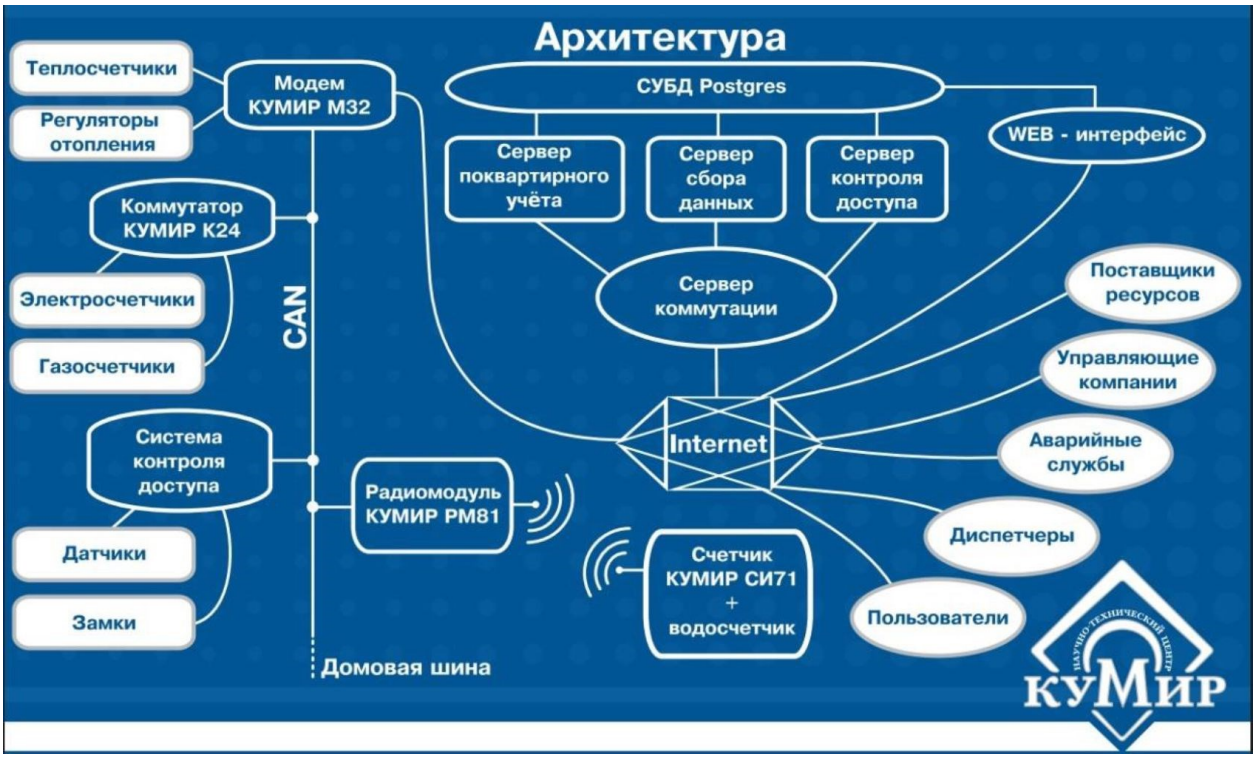


Рис. 2. Архитектура сбора данных на примере научно-технического центра «КУМИр»
Fig. 2. Data collection architecture using the example of the scientific and technical center KUMIr

Обработка больших данных в жилищном секторе играет важную роль в оптимизации энергетических ресурсов и совершенствовании управления жилой недвижимостью. Она включает в себя анализ данных, разработку моделей и применение различных методов для получения ценной информации, и принятия обоснованных решений.

Для обработки больших данных в жилищном секторе используются различные методы анализа данных. Они могут включать статистический анализ, интеллектуальный анализ данных, машинное обучение, интеллектуальный анализ данных и другие методы.

Статистический анализ может выявить взаимосвязи и закономерности в данных. Статистика – наука о сборе, анализе и вынесении выводов из данных, при этом основной упор делается на выбор правильных инструментов и методов на каждом этапе анализа данных. Все эти шаги, начиная от сбора данных и заканчивая их эффективным анализом и последующим выводом или формулированием выводов, подпадают под сферу статистики.

Различные области анализа заимствуют методы из статистики [7]. Интеллектуальный анализ данных касается автоматического или полуавтоматического исследования и анализа больших объемов данных для обнаружения значимых закономерностей или правил при помощи методов статистки, машинного обучения и распознавания образов [8–16]. Он имеет более широкую сферу применения, чем другие традиционные области анализа данных (например, статистика), поскольку он отвечает на нетривиальные вопросы. Подраздел машинного обучения искусственного интеллекта фокусируется на задаче предоставления компьютерным системам автоматического обучения на основе данных для решения конкретной задачи. Задачи ML можно разделить на классификацию (или контролируемое обучение), кластеризацию (или обучение без учителя), ассоциации и числовое предсказание [9–19].

Таким образом, машинное обучение может создавать модели, которые могут предсказывать будущие тенденции и поведение потребителей.

Одной из важных задач обработки больших данных в жилищном секторе является разработка прогнозных моделей, способных оптимизировать энергопотребление. Эти модели могут использовать данные о потреблении энергии, погодных условиях, характеристиках зданий и других параметрах для прогнозирования будущего потребления энергии и определения оптимальных стратегий управления ресурсами. Например, модели могут предлагать оптимальное время работы систем отопления и охлаждения, регулировать освещение или оптимизировать использование возобновляемых источников энергии. Визуализация данных – важный инструмент обработки больших данных в жилищном секторе. Она представляет информацию в четкой и наглядной форме, что облегчает понимание и анализ данных. Визуализации включают таблицы, диаграммы, карты и другие графические элементы. Это помогает выявлять тенденции, аномалии, закономерности и взаимосвязи в данных и делиться результатами с заинтересованными сторонами. Обработка больших данных в жилищном секторе дает ценную информацию, а информация используется для эффективного управления ресурсами и повышения энергоэффективности жилой недвижимости. Анализ данных, разработка прогнозных моделей и визуализация результатов – важные этапы в этом процессе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Накопление, систематизация и обработка больших данных в жилищной сфере открывают новые перспективы более эффективного использования энергетических ресурсов.

Благодаря этим методам можно отслеживать и оптимизировать выбросы углекислого газа в домах, повышать комфорт жильцов и одновременно снижать затраты на электроэнергию. Инвестиции в эти технологии необходимы для создания более устойчивого и экологически чистого будущего в жилищном секторе. Поэтому первостепенное значение имеет дальнейшее совершенствование методик и методов накопления и обработки больших данных. Для этого необходимо провести дополнительные научные исследования с целью выявления новых подходов и инновационных решений в этой области.

Дальнейшая научная работа должна быть сосредоточена на следующих аспектах:

1. Развитие инновационных технологий, таких как интернет вещей и искусственный интеллект для сбора и анализа данных, а также для автоматизации и оптимизации управления ресурсами.

2. Разработка моделей и методов прогнозирования, которые позволят учитывать будущие потребности в ресурсах и оптимизировать их использование.

3. Необходимо изучить влияние различных факторов, таких как климатические условия,

поведение жильцов и техническое состояние зданий на энергоэффективность и управление ресурсами в жилищном секторе. Немаловажным направлением является подготовка кадров, обладающих соответствующими компетенциями для использования своих знаний и умений в отрасли жилищно-коммунального хозяйства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Петров П.А., Хохлова Н.С. Оценка готовности города к внедрению концепции «Умный город» // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 3. С. 423–432. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-3-423-432. EDN: FXDYPA.
2. Иванцов А.И., Петров А.С. К вопросу о повышении класса энергосбережения жилых зданий за счет архитектурно-конструктивных и других параметров // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. № 4. С. 40–50. https://doi.org/10.52409/20731523_2022_4_40. EDN: LKMZCC.
3. Горшков А.С, Гладких А.А. Мероприятия по повышению энергоэффективности в строительстве // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 246–250. EDN: NTLBTB.
4. Алексеев К.А. Использование Big Data в международном бизнесе // Труды Института системного программирования РАН. 2020. Т. 32. № 4. С. 7–20. https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2020-32(4)-1. EDN: RHHXDQ.
5. Darelle J. Classification of Data – What Is It, Types and Best Practices // Kiteworks. 2022. Режим доступа: https://www.kiteworks.com/secure-file-transfer/data-classification-what-it-is-types-and-best-practices/ (дата обращения: 19.03.2025).
6. Бююль А., Цёфель П. SPSS: Искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей. СПб.: ООО «ДиаСофтЮП», 2005. 608 с. EDN: QMPGNR.
7. Bilal M., Oyedele L.O., Qadir J., Munir K., Ajayi S.O., Akinade O.O. et al. Big Data in The Construction Industry: A Review of Present Status, Opportunities, And Future Trends // Advanced Engineering Informatics. 2016. Vol. 30. Iss. 3. P. 500–521. https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.07.001.
8. Ismail S.A., Bandi S., Maaz Z.N. An Appraisal into the Potential Application of Big Data in the Construction Industry // International Journal of Built Environment and Sustainability. 2018. Vol. 5. Iss. 2. P. 145–154. https://doi.org/10.11113/ijbes.v5.n2.274.
9. Bouziane S., Aghoutane B., Moumen A., Sahlaoui A., El Ouali A. Proposal of a Big Data System for an Intelligent Management of Water Resources // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 314. P. 1–5. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131402002.
10. Lysanov. D.M, Isavnin A.G., Eremina I.I., Ishmuradova I.I., Karamyshey A.N. System Design of Manaqement of Enerqy Recources in The Fields of Housing // HELIX. 2019. Vol. 9. Iss. 4. P. 5258–5263.
11. Angelopoulos M.K., Kontakou Ch. Big Data Analytics for Energy Efficiency // Archives of Business Research. 2020. Vol. 8. Iss.10. P. 15–23. https://doi.org/10.14738/abr.810.9183.
12. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Перспективы повышения энергетической эффективности жилых зданий в России // Вестник МГСУ. 2011. № 3-1. С. 192–200. EDN: OVYOIX.
13. Конюхов В.Ю., Опарина Т.А., Гун Ш.С. Энергоменеджмент как эффективная система энергосбережения и решение проблем ее внедрения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2020. Т. 10. № 4. С. 534–543. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2020-4-534-543. EDN: ZVGMNC.
14. Кочегаров А.Д., Садыков А.С. Оценка эффективности организации управления ЖКХ // Сборник статей Правительства Москвы «Государственное и муниципальное управление на рубеже веков». М.: Прима-Пресс, 1998. 207 с.
15. Ustiuzhanin A., Chizhik K., Bazhenov V. Influence of Weather Conditions On Energy Consumption of Controlled Blowers at WWTP // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 869. P. 1–10. https://doi.org/10.1088/1757-899X/869/4/042027.
16. Бланцуа В.И. Создание первых автономных систем интернета в Сибири как пространственная диффузия инноваций // Пространственная экономика. 2025. Т. 21. № 1. С. 7–32. https://doi.org/10.14530/se.2025.1.007-032. EDN: ZJBFYK.
17. 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.
18. Белоусов Р.А., Гапеенко А.Н., Фискин Е.М., Николаев А.А., Федчишин В.В., Фискина М.М. Концептуальный подход к созданию и развитию интеллектуальной системы учета энергоресурсов «КУМИр-ресурс» // Автоматизация в промышленности. 2023. № 8. С. 3–7. https://doi.org/10.25728/avtprom.2023.08.01. EDN: HPAWWR.

19. Рупосов В.Л., Хан В.В., Толстой М.Ю. Анализ социально-экономических моделей государственно-частного партнерства на примере энергосервиса. Иркутск: Изд-во Иркутского государственного технического университета, 2015. 185 с. EDN: UNZRZJ.

REFERENCES

1. Petrov P.A., Khokhlova N.S. Assessment of City Readiness for Implementation of the Smart City Concept. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2023;13(3):423-432. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-3-423-432. EDN: FXDYPA.
2. Ivantsov A.I., Petrov A.S. Increasing The Energy Saving Class of Residential Buildings Due to Architectural, Structural and Other Parameters. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering.* 2022;4:40-50. (In Russ.). https://doi.org/10.52409/20731523_2022_4_40. EDN: LKMZCC.
3. Gorshkov A.S., Gladkikh A.A. Measures for Energy Efficiency in Construction. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo.* 2010;3:246-250. (In Russ.). EDN: NTLBTB.
4. Alekseev K.A. Using Big Data in International Business. *Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS.* 2020;32(4):7-20. (In Russ.). https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2020-32(4)-1. EDN: RHHXDQ.
5. Darelle J. Classification of Data – What Is It, Types and Best Practices. *Kiteworks.* 2022. Available from: https://www.kiteworks.com/secure-file-transfer/data-classification-what-it-is-types-and-best-practices/ [Accessed 19 March 2025].
6. Byuyul' A., Tsefel' P. *SPSS: The Art of Information Processing. Analyzing Statistical Data and Restoring Hidden Patterns.* Saint Petersburg: DiaSoftYUP LLC, 2005. 608 p. (In Russ.). EDN: QMPGNR.
7. Bilal M., Oyedele L.O., Qadir J., Munir K., Ajayi S.O., Akinade O.O. et al. Big Data in The Construction Industry: A Review of Present Status, Opportunities, And Future Trends. *Advanced Engineering Informatics.* 2016;30(3):500-521. https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.07.001.
8. Ismail S.A., Bandi S., Maaz Z.N. An Appraisal into the Potential Application of Big Data in the Construction Industry. *International Journal of Built Environment and Sustainability.* 2018;5(2):145-154. https://doi.org/10.11113/ijbes.v5.n2.274.
9. Bouziane S., Aghoutane B., Moumen A., Sahlaoui A., El Ouali A. Proposal of a Big Data System for an Intelligent Management of Water Resources. *E3S Web of Conferences.* 2021;314:1-5. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131402002.
10. Lysanov. D.M, Isavnin A.G., Eremina I.I., Ishmuradova I.I., Karamyshey A.N. System Design of Manaqement of Enerqy Recources in The Fields of Housing. *HELIX.* 2019;9(4):5258-5263.
11. Angelopoulos M.K., Kontakou Ch. Big Data Analytics for Energy Efficiency. *Archives of Business Research.* 2020;8(10):15-23. https://doi.org/10.14738/abr.810.9183.
12. Gagarin V.G., Kozlov V.V. Prospects of Increase of Power Efficiency of Residential Buildings in Russia. *Monthly Journal on Construction and Architecture.* 2011;3-1:192-200. (In Russ.). EDN: OVYOIX.
13. Koniukhov V.Yu., Oparina T.A., Gun Sh.S. Power Management as an Effective Power Saving System and Problems of Its Implementation. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2020;10(4):534-543. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2020-4-534-543. EDN: ZVGMNC.
14. Kochegarov A.D., Sadykov A.S. Evaluation of The Efficiency of the Organization of Housing and Communal Services Management. In: Collection of articles of the Moscow Government "*State and municipal management at the turn of the century*". Moscow: Prima-Press, 1998. 207 p.
15. Ustiuzhanin A., Chizhik K., Bazhenov V. Influence of Weather Conditions On Energy Consumption of Controlled Blowers at WWTP. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2020;869:1-10. https://doi.org/10.1088/1757-899X/869/4/042027.
16. Blanutsa V.I. Creating The First Autonomous Systems of Internet in Siberia as A Spatial Diffusion of Innovations. *Spatial Economics.* 2025;21(1):7-32. (In Russ.). https://doi.org/10.14530/se.2025.1.007-032. EDN: ZJBFYK.
17. 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. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-10-19. EDN: UINEZA.
18. Belousov R.A., Gapeenko A.N., Fiskin E.M., Nikolaev A.A., Fedchishin V.V., Fiskina M.M. Conceptual Approach to The Creation and Development of the Intelligent Energy Resource Accounting System "KUMIr-Resource". *Avtomatizatsiya v promyshlennosti.* 2023;8:3-7. (In Russ.). https://doi.org/10.25728/avtprom.2023.08.01. EDN: HPAWWR.
19. Ruposov V.L., Khan V.V., Tolstoi M.Yu. *Analysis of Socio-Economic Models of Public-Private Partnership On the Example of Energy Service.* Irkutsk: Publishing house of Irkutsk State Technical University, 2015. 185 p. (In Russ.). EDN: UNZRZJ.

Информация об авторах

Адегбола Акилоу Адемола Адигун,
аспирант,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83,
Россия,
e-mail: akil.adegbola5@gmail.com

Толстой Михаил Юрьевич,
к.т.н., доцент,
заведующий кафедрой инженерных коммуникаций и систем жизнеобеспечения,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, Россия,
✉e-mail: tolstoi@istu.edu
https://orcid.org/0000-0002-1573-060X
Author ID: 106145

Чижик Константин Иванович,
к.т.н., доцент, доцент
кафедры водоснабжения и водоотведения,
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,
Россия,
e-mail: ChizhikKI@mgsu.ru
https://orcid.org/0000-0001-5256-4850
Author ID: 803140

Information about the authors

Akilow A.A. Adegbola,
Postgraduate Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
e-mail: akil.adegbola5@gmail.com

Mikhail Yu. Tolstoy,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Head of the Department of Engineering Communications and Life Support Systems,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
✉e-mail: tolstoi@istu.edu
https://orcid.org/0000-0002-1573-060X
Author ID: 106145

Konstantin I. Chizhik,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Water Supply and Sanitation,
Moscow State University of Civil Engineering,
26 Yaroslavskoe Shosse, Moscow 129337,
Russia,
e-mail: ChizhikKI@mgsu.ru
https://orcid.org/0000-0001-5256-4850
Author ID: 803140

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.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 20.03.2025.
Одобрена после рецензирования 31.03.2025.
Принята к публикации 01.04.2025.

Information about the article

The article was submitted 20.03.2025.
Approved after reviewing 31.03.2025.
Accepted for publication 01.04.2025.

Научная статья
УДК 691-4
EDN: EVGTER
DOI: 10.21285/2227-2917-2025-2-244-250

К вопросу растяжимости фибробетона с полипропиленовым волокном

И.Г. Корнеева[1], Н.А. Емельянова[2]✉
[1,2]Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Аннотация. Настоящее исследование посвящено вопросу сравнительной оценки сопротивления изгибу обычного (мелкозернистого) и дисперсно-армированного бетона. Слабая растяжимость бетона обуславливает низкую трещиностойкость, что является определяющим фактором ограниченной долговечности бетонных и железобетонных конструкций, эксплуатируемых в неблагоприятных условиях. В работе представлены результаты экспериментальных исследований, позволяющие выполнить анализ конструктивных свойств фибробетонов с различным уровнем их объемного армирования полипропиленовыми фибрами. Приведены экспериментальные данные испытаний в режиме нагружения с постоянной скоростью деформирования 0,05 мм/с. Опытные образцы были испытаны на четырехточечный изгиб на испытательном комплексе Instron с автоматической записью прогибов в середине пролета, деформаций растянутого волокна, построением диаграмм нагрузка-прогиб, напряжения-деформации. Определена техническая целесообразность использования полипропиленовых фибр в качестве армирующих элементов в объемах, обеспечивающих условия совместности их деформирования с бетонной матрицей. Проведенное экспериментальное исследование позволило установить качественные (по структуре) и статистические изменения деформации фибробетона, позволяющие существенно увеличить его способность к восприятию растягивающих деформаций.

***Ключевые слова*:** фибробетон, полипропилен, фибра, изгибная жесткость, трещиностойкость, дисперсное армирование

***Для цитирования*:** Корнеева И.Г., Емельянова Н.А. К вопросу растяжимости фибробетона с полипропиленовым волокном // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 2. С. 244–250. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-244-250. EDN: EVGTER.

Original article

On the issue of stretchability of fiber-reinforced concrete with polypropylene fiber

Inna G. Korneeva[1], Natalia A. Emelyanova[2]✉
[1,2]Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The present study is devoted to the issue of comparative assessment of bending resistance of ordinary (fine-grained) and dispersed reinforced concrete. The weak extensibility of concrete causes low crack resistance, which is a determining factor in the limited durability of concrete and reinforced concrete structures operated in adverse conditions. The paper presents the results of experimental studies that make it possible to analyze the structural properties of fiber-reinforced concrete with different levels of their volumetric reinforcement with polypropylene fibers. Experimental test data in the loading mode with a constant deformation rate of 0.05 mm/s are presented. The prototypes were tested for four-point bending at the Instron test facility with automatic recording of deflections in the middle of the span, deformations of the stretched fiber, and the construction of load-deflection and stress-strain diagrams. The technical feasibility of using polypropylene fibers as reinforcing elements in volumes that ensure the compatibility of their deformation with the concrete matrix has been determined. The conducted experimental study made it possible to establish qualitative (in terms of structure) and statistical changes in the deformation of fibrocrete, which significantly increase its ability to perceive tensile deformations.

© Корнеева И.Г., Емельянова Н.А., 2025

Keywords: fibre concrete, polypropylene, fiber, bending rigidity, crack resistance, dispersed reinforcement

For citation: Korneeva I.G., Emelyanova N.A. On the issue of stretchability of fiber-reinforced concrete with polypropylene fiber. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2025;15(2):244-250. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-244-250. EDN: EVGTER.

ВВЕДЕНИЕ

Опыт эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций в неблагоприятных условиях показывает, что определяющим фактором их ограниченной долговечности является низкая трещиностойкость, обусловленная слабой растяжимостью бетона.

Рассматривая современные подходы к вопросу направленного формирования композитных структур, можно сделать вывод, что она может быть повышена путем дисперсного фиброармирования [1, 3–7].

Физико-технические свойства используемых материалов должны быть гармонизированы с соответствующими характеристиками цементосодержащих матриц. Они также должны быть приемлемыми по критериям экономической, энергетической и экологической целесообразности [8–12, 14–15]. С учетом указанных предпосылок и ограничений допускается применение в качестве армирующих фрагментов волокнистых полипропиленовых фибр, являющихся одними из компонентов переработки отходов соответствующих производств полимеров. Анализу конструктивных свойств фибробетонов с различным уровнем их объемного армирования полипропиленовыми фибрами посвящено настоящее исследование.

МЕТОДЫ

В соответствии с модельным представлением о структуре фибробетона [1], ее целевое формирование осуществлялось с учетом максимального диаметра заполнителя (10 мм) и его объемного содержания (0,48). При этом фибровые волокна с эквивалентным диаметром 0,8 мм и длиной 40 мм характеризовались параметрами, представленными в таблице.

Нормируемые (ГОСТ 9550-81) свойства полипропиленовых фибр
Polypropylene fibre properties (based on State All-Union Standard GOST 9550-81).

Наименование параметра	Значение параметра
Начальное поперечное сечение образца, мм^2	0,5
Прочность при растяжении, МПа	145,54
Относительное удлинение при максимальной нагрузке, %	21,95
Модуль упругости, МПа	2767
Прочность при разрыве, МПа	140,9
Относительное удлинение при разрыве, %	22,3

Опытные призматические образцы изготавливались из фибробетонных смесей, матричную основу которых составлял бетон (Ц:П:Щ:В = 1:1,42:3,31:0,55 при Ц = 380 кг/м^3).

Объемное содержание армирующих элементов находилось в диапазоне от 0 до 2 %. Хранение образцов в течение 28 сут. соответствовало регламенту ГОСТ 10180-2012. До момента испытаний (60 сут.) – в обычных условиях.

Опытные образцы были испытаны на изгиб на испытательном комплексе Instron в режиме постоянства скорости деформирования (0,05 мм/с).

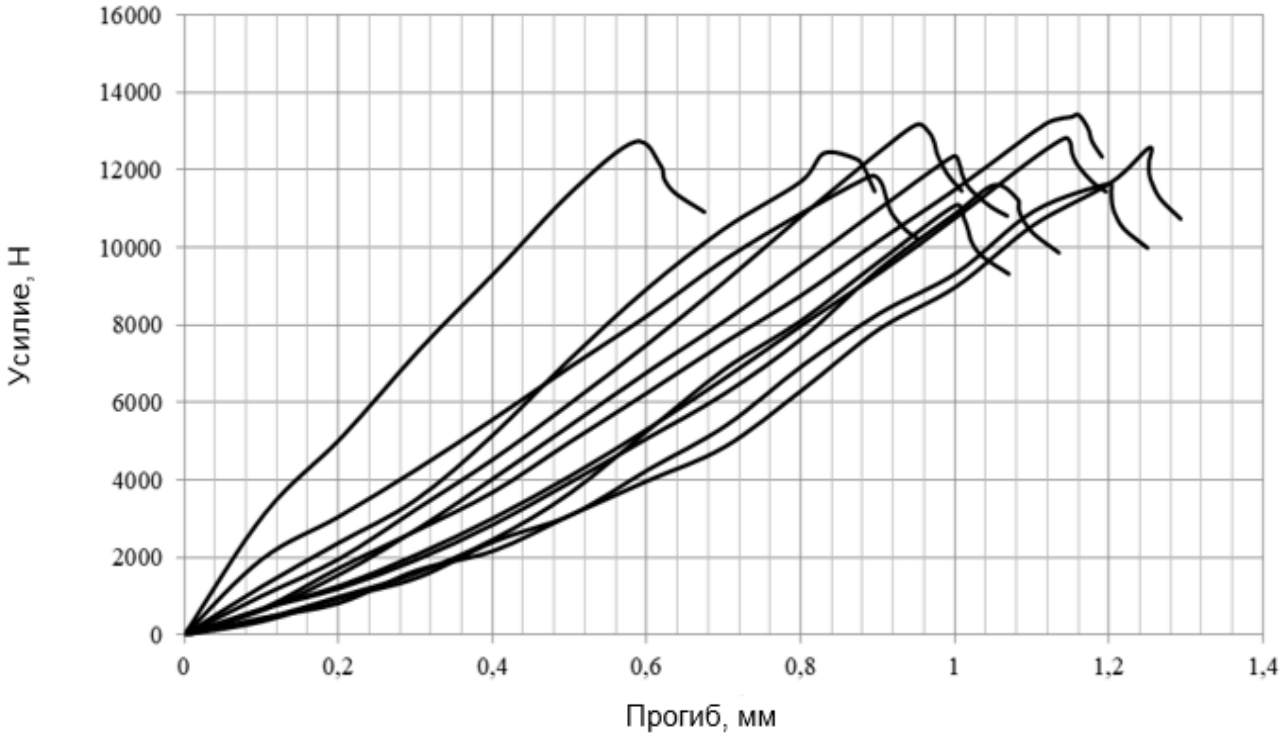
Производилась автоматическая запись прогибов в середине пролета и деформаций растянутого волокна с автоматическим построение диаграмм нагрузка-прогиб, напряжения-деформации, времени испытания. В качестве граничных условий (критериев) разрушения приняты: прогиб – 3 мм, деформация растянутого волокна 0,03 мм/мм или разделение образца на две части.

Число опытных образцов каждого уровня армирования составляло 12 штук, что позволило выполнить статистически представительное обобщение полученных результатов.

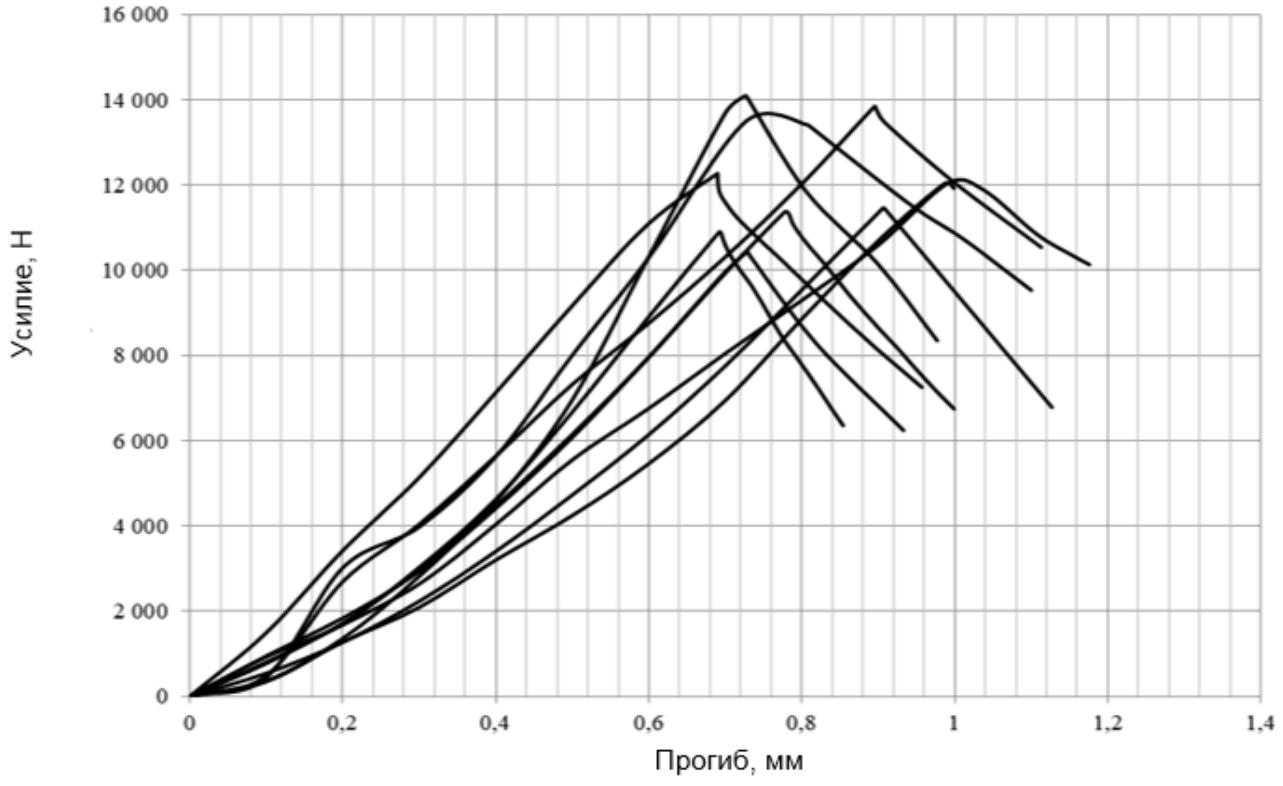
РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выборочные семейства диаграмм «Усилие-прогиб» обычного и фиброармированного (μ = 1%) бетонов представлены на рис. 1а, б. Их визуальное сопоставление подтверждает ощутимое различие кинетики в процессе нагружения прогибов, количественных значений параметров и статистических закономерностей их распределения. Учитывая установленную неоднозначность последствий фиброармирования на показатели сжимаемости [2], целесообразно оценить влияние уровня армирования на сопротивление изгибу. Прежде всего, обращает

на себя внимание снижение максимального усилия, воспринимаемого фибробетоном по мере его насыщения арматурными элементами. При этом, до уровня оптимального по Рабиновичу [1] значения ($\mu_{опт}$ ≈ 1,5–1,8 %) речь может идти о тенденции (снижение 2–8 %).



a



b

Рис. 1. Семейство диаграмм «Усилие – прогиб»:
a – обычный бетон; b – фиброармированный бетон
Fig. 1. Family of diagrams "Force – deflection": a – normal concrete; b – fiber-reinforced concrete

В дальнейшем падение прочности более существенно и достигает 13–15 %.

Одновременно наблюдаются изменения в статистиках ее распределения, характеризующиеся ростом дисперсии и коэффициента изменчивости.

С учетом последних, минимально ожидаемые значения разрушающих усилий фибробетона составят 90–95 % от обычного, без четкой зависимости от уровня армирования. Принципиально важным фактором представляется динамика изменения прогиба на этапах возрастания нагрузки и ее снижении в процессе самоускоряющегося разрушения. Фиброармирование ведет к более интенсивному, чем нагрузка, снижению прогибов с заметной стабилизацией на уровне оптимального армирования (рис. 2). Подобное соотношение кинетики прочности и деформативности подтверждает интегральную целесообразность армирования в части суммарного эффекта сопротивления фибробетона изгибу. Положительное влияние армирования прослеживается и на изменении статистических параметров: существенно снижается дисперсия, интервал ожидаемых значений требуемой обеспеченности. Следовательно, максимально ожидаемые (при 95 % обеспеченности) значения прогибов фибробетона составляет (65–80 %) чисто бетонного аналога.

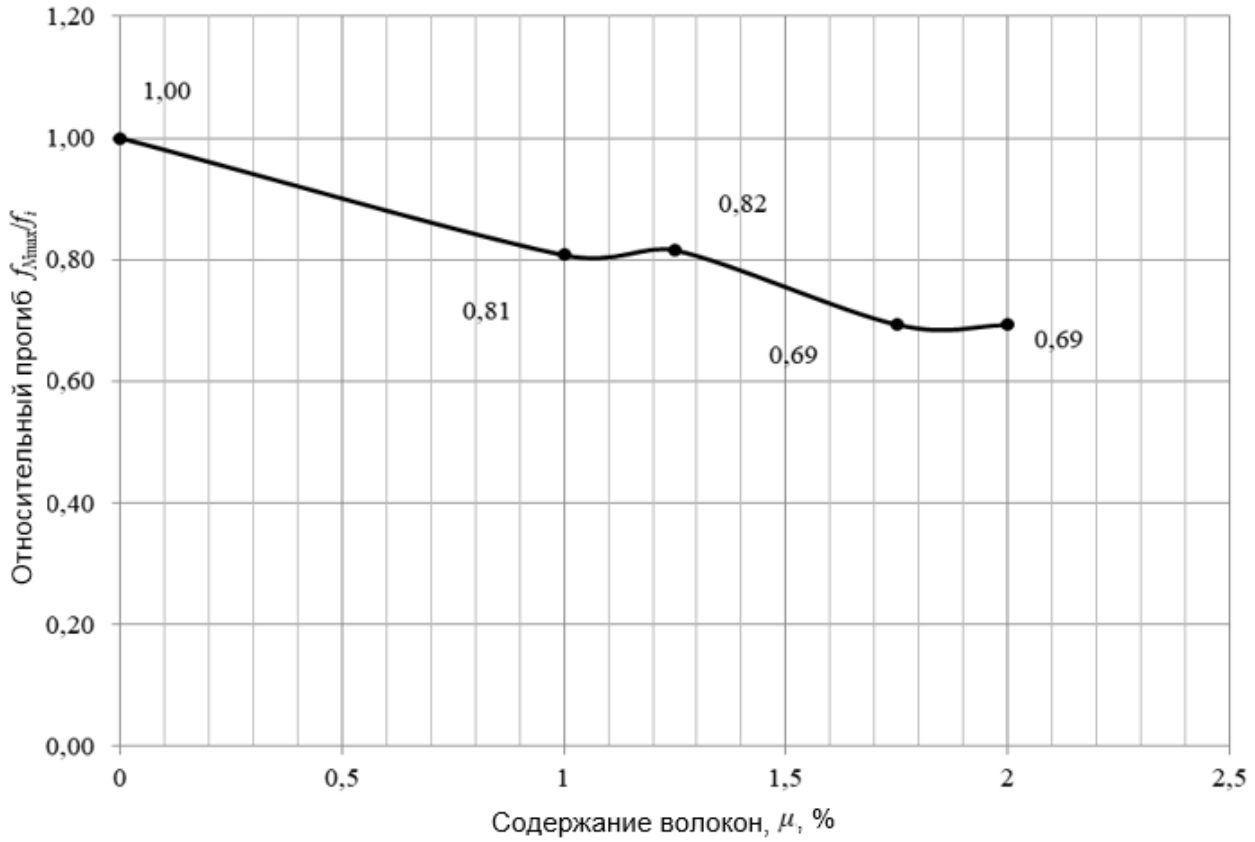


Рис. 2. Прогиб при максимальной нагрузке
Fig. 2. Deflection at maximum load

Характерной и отличительной особенностью фибробетона является его способность к деформированию после достижения максимальной нагрузки [13].

Из представленных на рис. 3 данных следует многократное увеличение деформативности при росте фиброармирования и ее стабилизации в области оптимального объемного содержания. Получение подобных экспериментальных данных становится возможным в условиях обеспечения режима нагружения с постоянной скоростью деформирования и является косвенным подтверждением существенного возрастания потенциала стесненного деформирования.

Подобные выводы следуют и из сравнительной оценки деформаций растяжения при физическом разрушении образцов по указанным выше критериям (рис. 4). Наблюдается устойчивая динамика возрастания растяжимости фибробетона с увеличением армирования в рассматриваемом диапазоне.

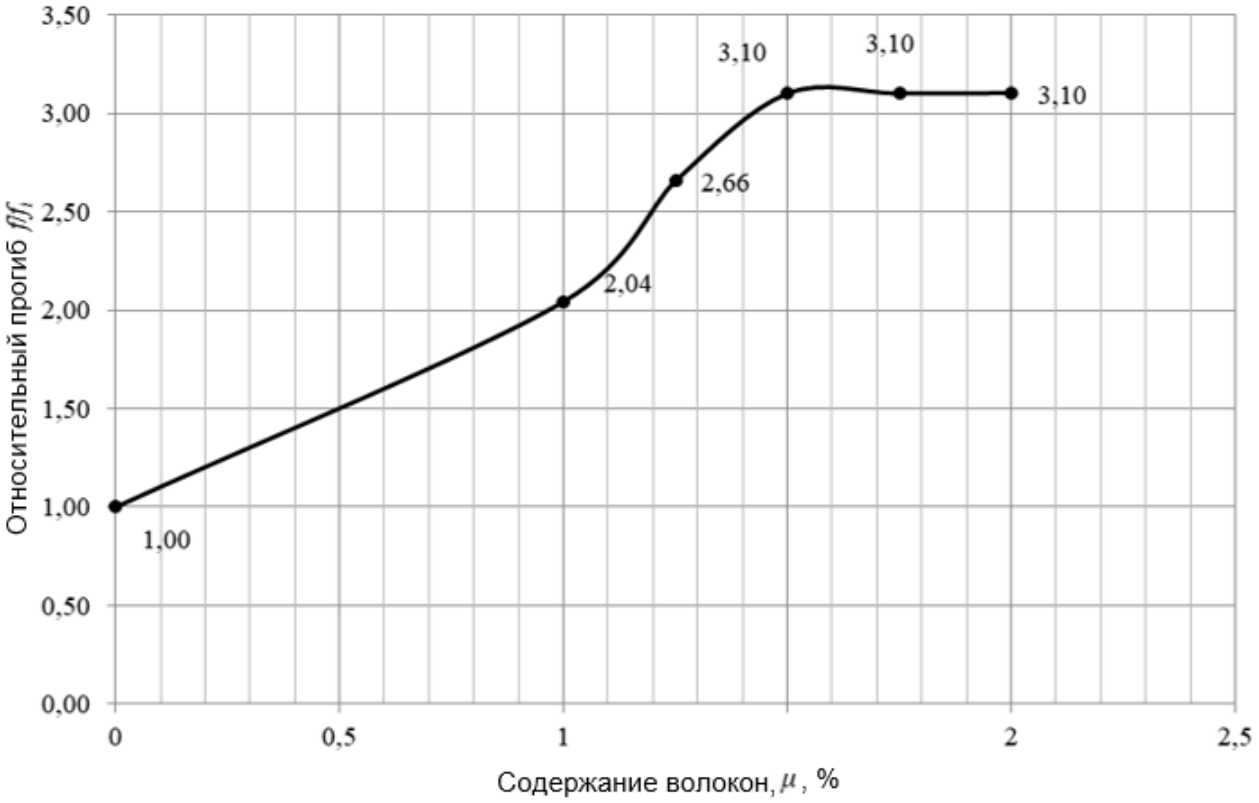


Рис. 3. Прогиб при разрушении
Fig. 3. Deflection at failure

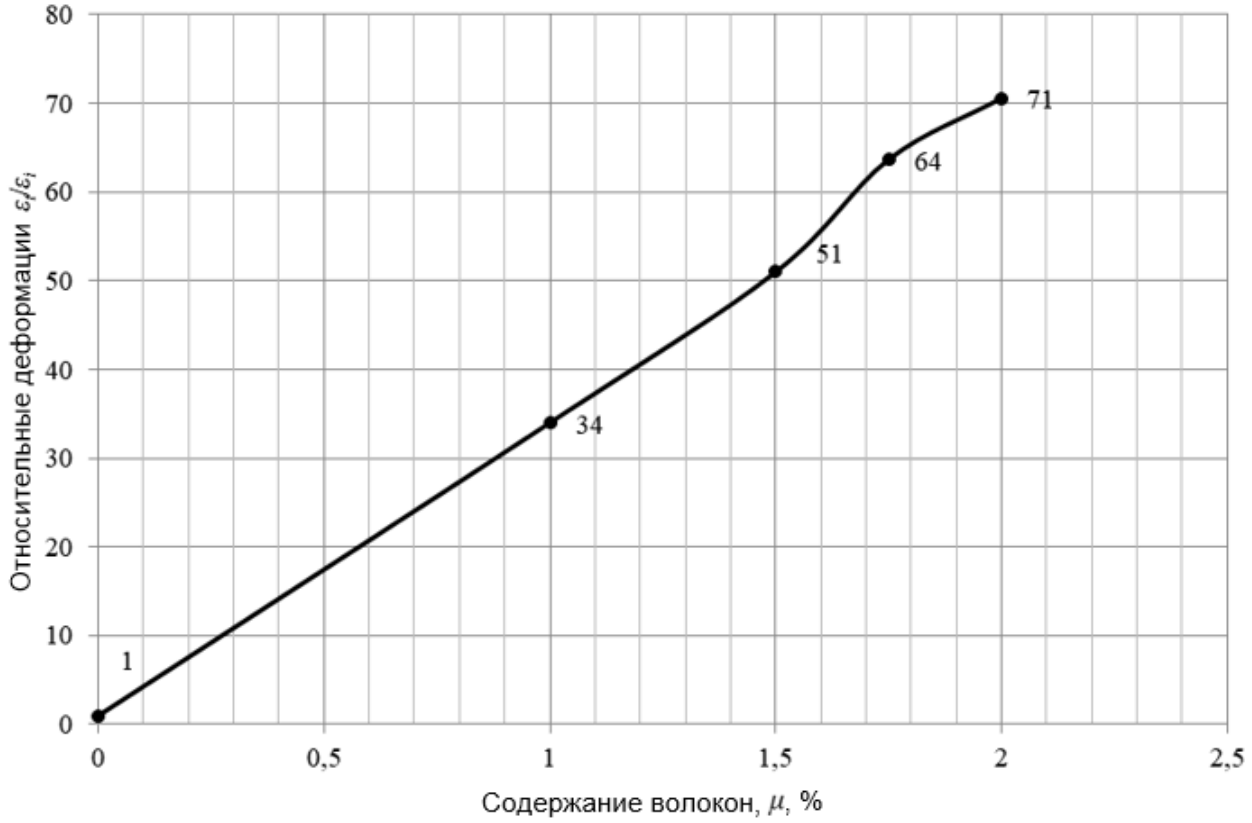


Рис. 4. Деформации растяжения при разрушении
Fig. 4. Tensile deformations at failure

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Армирование бетона фибрами из полипропиленовых волокон в объемах, обеспечивающих условия совместности их деформирования, способствует увеличению его растяжимости и изгибной жесткости.

2. Чрезмерное фибронасыщение структуры бетона нецелесообразно из-за превалирующего (по сравнению с увеличением жесткости) снижения прочности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: монография. М.: Ассоциации строительных вузов, 2011. 642 с.
2. Korneyeva I.G. Constructive Properties of Concrete Being Finely Reinforced with Polypropylene Fibers // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 212. P. 1–5. https://doi.org/10.1051/matecconf/201821201007.
3. Romualdi J.R., Mandel J.A. Tensile Strength of Concrete Affected by Uniformly Distributed and Closely Spaced Lengths of Wire Reinorcement // ACI Journal. 1964. Vol. 61. Iss. 6. P. 657–671. https://doi.org/10.14359/7801.
4. Моргун Т.В. Анализ закономерностей формирования оптимальных структур дисперсно-армированных бетонов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2003. № 8. С. 58–61. EDN: PJJOUR.
5. Peled A., Cyr M.F., Shah S.P. High Content of Fly Ash (Class F) in Extruded Cementitious Composites // ACI Materials Journal. 2000. Vol. 97. Iss. 5. P. 509–517.
6. Johnston C.D. Properties of Steel Fibre Reinforced Mortar and Concrete // Concrete International 1980. Proceedings of the Symposium on Fibrous Concrete (London, 16 April, 1980). London, 1980. P. 29–47.
7. Ahmed T.A.H., Daoud O.M.A. Influence of Polypropylene Fibres on Concrete Properties // IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. 2016. Vol. 13. Iss. 5. P. 9–20. http://doi.org/10.9790/1684-1305060920.
8. Rizzuti L., Bencardino F. Effects of Fibre Volume Fraction On the Compressive and Flexural Experimental Behaviour of SFRC // Contemporary Engineering Sciences. 2014. Vol. 7. Iss. 8. P. 379–390. https://doi.org/10.12988/ces.2014.4218.
9. Dharan D.S., Lal A. Study The Effect of Polypropylene Fiber in Concrete // International Research Journal of Engineering and Technology. 2016. Vol. 3. Iss. 6. P. 616–619.
10. Sukontasukkul P. Toughness Evaluation of Steel and Polypropylene Fibre Reinforced Concrete Beams Under Bending // Thammasat International Journal of Science and Technology. 2004. Vol. 9. Iss. 3. P. 35–41.
11. Amin A., Foster S.J., Muttoni A. Derivation of The σ-w Relationship for SFRC from Prism Bending Tests // Structural Concrete. 2015. Vol. 16. Iss. 1. P. 93–105. https://doi.org/10.1002/suco.201400018.
12. Jin-Ha Hwang, Deuck Hang Lee, Hyunjin Ju, Kang Su Kim, Soo-Yeon Seo, Joo-Won Kang Shear Behavior Models of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams Modifying Softened Truss Model Approaches // Materials. 2013. Vol. 6. Iss. 10. P. 4847–4867. https://doi.org/10.3390/ma6104847.
13. Korneeva I.G. Extensibility of Fibre Reinforced Concrete // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 667. P. 1–8. https://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012044.
14. Zollo R.F. Collated Fibrillated Polypropylene Fibers in FRC. Detroit: American Concrete Institute, 1984. P. 397–409.
15. Guirguis S., Potter R.J. Polypropylene Fibres in Concrete. Australia: Technical Report TR/F90 Cement and Concrete Association of Australia, 1985. 21 p.

REFERENCES

1. Rabinovich F.N. *Composites Based On Dispersion-Reinforced Concrete. Theory and Design Issues, Technology, Constructions: Monograph.* Moscow: Association of Construction Universities, 2011. 642 p. (In Russ.).
2. Korneyeva I.G. Constructive Properties of Concrete Being Finely Reinforced with Polypropylene Fibers. *MATEC Web of Conferences.* 2018;212:1-5. https://doi.org/10.1051/matecconf/201821201007.
3. Romualdi J.R., Mandel J.A. Tensile Strength of Concrete Affected by Uniformly Distributed and Closely Spaced Lengths of Wire Reinorcement. *ACI Journal*. 1964;61(6):657-671. https://doi.org/10.14359/7801.
4. Morgun T.V. Analysis of The Patterns of Formation of Optimal Structures of Dispersion-Reinforced Concrete. *News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2003;8:58-61. (In Russ.). EDN: PJJOUR.
5. Peled A., Cyr M.F., Shah S.P. High Content of Fly Ash (Class F) in Extruded Cementitious Composites. *ACI Materials Journal.* 2000;97(5):509-517.
6. Johnston C.D. Properties of Steel Fibre Reinforced Mortar and Concrete. In: *Concrete International 1980. Proceedings of the Symposium on Fibrous Concrete.* 16 April 1980, London. London; 1980. p. 29–47.

7. Ahmed T.A.H., Daoud O.M.A. Influence of Polypropylene Fibres on Concrete Properties. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering.* 2016;13(5):9-20. http://doi.org/10.9790/1684-1305060920.
8. Rizzuti L., Bencardino F. Effects of Fibre Volume Fraction On the Compressive and Flexural Experimental Behaviour of SFRC. *Contemporary Engineering Sciences.* 2014;7(8):379-390. https://doi.org/10.12988/ces.2014.4218.
9. Dharan D.S., Lal A. Study The Effect of Polypropylene Fiber in Concrete. *International Research Journal of Engineering and Technology.* 2016;3(6):616-619.
10. Sukontasukkul P. Toughness Evaluation of Steel and Polypropylene Fibre Reinforced Concrete Beams Under Bending. *Thammasat International Journal of Science and Technology.* 2004;9(3):35-41.
11. Amin A., Foster S.J., Muttoni A. Derivation of The σ-w Relationship for SFRC from Prism Bending Tests. *Structural Concrete.* 2015;16(1):93-105. https://doi.org/10.1002/suco.201400018.
12. Jin-Ha Hwang, Deuck Hang Lee, Hyunjin Ju, Kang Su Kim, Soo-Yeon Seo, Joo-Won Kang Shear Behavior Models of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams Modifying Softened Truss Model Approaches. *Materials.* 2013;6(10):4847-4867. https://doi.org/10.3390/ma6104847.
13. Korneeva I.G. Extensibility of Fibre Reinforced Concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2019;667:1-8. https://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012044.
14. Zollo R.F. *Collated Fibrillated Polypropylene Fibers in FRC.* Detroit: American Concrete Institute, 1984. p. 397–409.
15. Guirguis S., Potter R.J. *Polypropylene Fibres in Concrete.* Australia: Technical Report TR/F90 Cement and Concrete Association of Australia, 1985. 21 p.

Информация об авторах

Корнеева Инна Геннадьевна,
к.т.н., доцент кафедры
строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: kornee-inna@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0001-6130-0195
Author ID: 1246486

Емельянова Наталья Александровна,
старший преподаватель кафедры
строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉e-mail: ena6767@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-7692-4424
Author ID: 1292257

Information about the authors

Inna G. Korneeva,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor
of the Department of Building Production,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
e-mail: kornee-inna@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0001-6130-0195
Author ID: 1246486

Natalia A. Emelyanova,
Senior teacher of the Deparment
of Building Production,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
✉e-mail: ena6767@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-7692-4424
Author ID: 1292257

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.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

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

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 04.03.2025.
Одобрена после рецензирования 19.03.2025.
Принята к публикации 21.03.2025.

Information about the article

The article was submitted 04.03.2025.
Approved after reviewing 19.03.2025.
Accepted for publication 21.03.2025.

Научная статья
УДК 691.335
EDN: LAVSBE
DOI: 10.21285/2227-2917-2025-2-251-256

Перспективы применения изделий из серобетона в дорожном строительстве с использованием местной ресурсной базы

В.Н. Малышев
Управление федеральных автомобильных дорог «Южный Байкал» Федерального дорожного агентства, Улан-Удэ, Россия

Аннотация. В условиях роста цен на цемент как основного компонента цементобетонных смесей становится актуальным применение альтернативных строительных материалов, пригодных для применения в строительной отрасли, в частности – в дорожном строительстве. Главными факторами, определяющими долговечность изделий для дорожного строительства, является их способность противостоять воздействию агрессивных солевых растворов и повышенная морозостойкость. Данными свойствами обладает бетон на основе серного вяжущего (серобетон), широкие исследования которого в Российской Федерации пока не проводились. Сера накапливается как побочный продукт работы газо-нефтеперерабатывающих заводов и используется в производстве удобрений для аграрного сектора, серной кислоты для промышленности. Часть производимой серы может быть использована в иных отраслях промышленности. Сера, как связующий компонент смесей строительных материалов, обладает рядом уникальных свойств, удобных для применения в строительстве: легко достижимая в дорожно-строительном производстве температура плавления и низкая динамическая вязкость расплавленной серы позволяет производить изделия из серобетонных смесей на асфальтобетонных заводах и в кохерах для приготовления литых асфальтобетонных смесей. В качестве заполнителей серобетона возможно применение местных каменных материалов, что позволит обеспечить необходимую экономическую эффективность в сравнении с применением изделий из цементобетона и природного камня.

Ключевые слова: серобетон, смеси серобетонные, бетон на основе серного вяжущего, изделия дорожно-строительные, ресурсосбережение

Для цитирования: Малышев В.Н. Перспективы применения изделий из серобетона в дорожном строительстве с использованием местной ресурсной базы // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 2. С. 251–256. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-251-256. EDN: LAVSBE.

Original article

Prospects for using sulfur concrete products with domestic resource base in road construction

Vladimir N. Malyshev
Federal Highway Administration “South Baikal” of the Federal Road Agency, Ulan-Ude, Russia

Abstract. Given the growing prices of cement as the main component of cement concrete mixtures, alternative construction materials suitable for use in the construction industry and road construction, in particular, become relevant. The main factors determining the durability of products in road construction include their ability to resist the effects of aggressive salt solutions and frost. Sulfur concrete demonstrates these properties; however, its extensive studies in the Russian Federation are yet lacking. Sulfur accumulates as a by-product of gas and oil plants, being used in the production of fertilizers for the agricultural sector and sulfuric acid for industry. A part of the produced sulfur may be used in other industries. Sulfur as a binding component of building material mixtures exhibits a number of unique properties suitable for use in construction. Thus, the melting temperature easily achievable in road-building production and low

© Малышев В.Н., 2025

dynamic viscosity of molten sulfur allow products to be obtained from sulfur concrete mixtures in asphalt-concrete plants and in asphalt kochers for production of cast asphalt-concrete mixtures. Domestic stone materials can be used as sulfur concrete aggregates, which provides the necessary cost-effectiveness compared to the use of products from cement concrete and natural stone.

Keywords: sulfur concrete, sulfur concrete mixtures, concrete based on sulfur binder, road construction products, resource conservation

For citation: Malyshev V.N. Prospects for using sulfur concrete products with domestic resource base in road construction. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2025;15(2):251-256. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-251-256. EDN: LAVSBE.

ВВЕДЕНИЕ

Сера накапливается как побочный продукт работы газо-нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) и используется в производстве удобрений для аграрного сектора, а также серной кислоты для промышленности, однако часть производимой серы может быть использована в иных отраслях промышленности – в частности, в строительной и дорожной. Складирование серы на НПЗ осуществляется в комовом либо гранулированном виде.

Сера, как связующий компонент смесей строительных материалов, обладает рядом уникальных свойств, удобных для применения в строительстве: температура плавления серы моноклинной аллотропной модификации +119,6 °С [1] и низкая динамическая вязкость 0,011–0,009 Па·с в интервале температур +120 ÷ +145 °С [2] характеризует расплавленную серу как легкоподвижную жидкость, и укладывается в температурные режимы работы асфальтобетонных заводов и кохеров для приготовления литых асфальтобетонных смесей, позволяя применять данные установки для приготовления серобетона.

С 1970-х гг. в мире ведется исследовательская работа по изучению возможности применения серы в строительстве. Соответствующие исследования производились в странах-лидерах по производству серы: в США в 1970–1980 гг., в странах Ближнего Востока с 2010-х гг. [3–5].

В ходе исследований отмечалась высокая скорость набора проектной прочности серобетона уже в первые сутки и повышенная стойкость к агрессивным средам [6–9]. Применение серобетона представляет собой перспективное решение с позиции снижения негативного воздействия на окружающую среду, связанного с накоплением отвалов серы на нефтегазоперерабатывающих заводах (НГПЗ).

Кроме того, серобетон обладает высокой степенью долговечности и устойчивостью к внешним воздействиям, что способствует сокращению необходимости в ремонте и замене конструкций. Использование серы снижает общий экологический след за счет сокращения расхода ресурсов на производство строительных материалов, а также способствует эффективной утилизации отходов промышленности и повышению уровня охраны окружающей среды [10, 11]. Серобетонные изделия, подвергшиеся разрушению в процессе эксплуатации, могут быть повторно переплавлены в исходную серобетонную смесь для дальнейшего производства из нее новых изделий [12], что кратно снижает затраты на эксплуатацию и производство, поддерживая экологический фокус внимания на вторичную переработку изделий.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время основное зарубежное направление исследований сместилось в сторону полимер-модифицированного серобетона с целью улучшения его базовых характеристик, таких как стойкость к высоким температурам (базовый серобетон запрещено использовать при температуре эксплуатации свыше 80 °С) и уменьшение газообразных выбросов при его производстве. Однако возможность применения серобетона в его изначальном базовом виде, без применения полимерных модификаторов, может быть рассмотрена именно в дорожном строительстве, поскольку эксплуатация дорожных изделий и конструкций происходит при температуре окружающей среды от -50 до +40 °С, не подвергая их воздействию нагрева свыше обозначенной критической температуры +80 °С. С точки зрения промышленной безопасности сера является веществом четвертого (низшего) класса опасности воздействия на организм по ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности», однако в процессе нагрева, в результате окисления серы с кислородом окружающего воздуха, начинают выделяться газообразные продукты окисления (SO_2, SO_3) [13]. В целях обеспечения безопасности персонала, занятого на производстве, требуется применять средства индивидуальной защиты (респираторы), а также обеспечить

достаточную вентиляцию на производстве с фильтрацией отводящего воздуха через систему очистки соответствующих газов.

Данные системы разработаны и успешно применяются на нефтегазодобывающих и перерабатывающих производствах. До настоящего времени в Российской Федерации исследования свойств серобетона не проведены в достаточной степени, несмотря на высокие объемы производства серы отечественными НГПЗ.

По данным Геологической службы США (USGS) за 2023 г. в Российской Федерации произведено 7 млн. т серы, тем самым Россия занимает четвертое место в мире по этому показателю [14].

По поиску диссертаций на портале «Российской государственной библиотеки» по тематике исследования свойств и составов серобетона имеется восемь исследовательских работ и диссертаций (Личман Н.В., Королёв Е.В., Попова И.А., Щербатых А.А., Филиппов Г.А., Болтышев С.А., Пичугин Д.А., Скрипунов Д.А.).

По патентному поиску на портале «Федерального института промышленной собственности» с тематикой способов получения серобетона имеется шесть патентов на изобретения, из них два – действующие.

В 2021 г. был принят государственный стандарт на серобетон ГОСТ 59613-2021 «Смеси серобетонные и серобетон. Технические условия», который, в отличие от аналогичных государственных стандартов на строительные материалы, не имеет в своем содержании ни рекомендуемых пределов соотношения компонентов смеси, ни исчерпывающих требований по технологии приготовления серобетонных смесей.

Данный ГОСТ указывает как конечный результат – подбор состава исходя из требований проектной документации и получения серобетона с заданными свойствами, фактически предлагая производителям самим подобрать необходимый состав серобетонных смесей без начальных рекомендаций.

Методики испытаний серобетона данным ГОСТ регламентированы по государственным стандартам к цементобетону. Учитывая принципиально различающиеся химические и физико-механические процессы получения серобетона и цементобетона, данный ГОСТ можно использовать лишь как некий промежуточный регламентирующий документ, требующий существенной корректировки после накопления исследовательских данных. Необходимость в применении новых альтернативных цементобетону строительных материалов возникла по причине роста стоимости цемента как основного компонента цементобетонных смесей.

По данным Единой межведомственной информационно-статистической системы Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации, рост цены портландцемента на внутреннем рынке за пятилетний период с 2020 по 2024 г. в среднем по стране составил 63,4 % для цемента без минеральных добавок (12,7 % в год) и 101,5 % для цемента с минеральными добавками (20,3 % в год), с локальным увеличением цены в периоды строительного сезона. В III квартале 2024 г. цена на цемент марки М400 в Иркутской области составляла от 9500 до 10 350 руб./т[1].

Цена на серу, в связи с приоритетными рынками сбыта, не связанными со строительными периодами, зависит в большей степени от мировых биржевых цен и в настоящее время составляет от 18 000 до 23 000 руб./т у различных НГПЗ.

При этом производство серобетона требует существенно больших затрат электроэнергии в сравнении с цементобетоном из-за необходимости прогрева серобетонной смеси до рабочей температуры смешивания серы с каменными материалами – 130–155 °С. Однако в ряде регионов применение серобетона может оказаться экономически эффективным. Так, например, в Иркутской области в настоящее время установлен самый низкий в Российской Федерации тариф на электроэнергию для малых предприятий с энергопотреблением до 670 кВт в месяц (5,27 руб. без НДС за 1 кВт/ч по состоянию на октябрь 2024 г.). Кроме того, имеется выгодная логистика – относительная близость нефтехимических производств (Ангарская нефтехимическая компания, Омский НПЗ) и высокая доступность разработки карьеров каменных общераспространенных полезных ископаемых[2]. Учитывая повышенную стойкость серобетона к воздействию агрессивных сред и высокие показатели морозостойкости, особенно значимым с точки зрения эффективности расходования бюджетных средств могли

[1]Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС). Индексы цен производителей по товарам и товарным группам с 2017 г. Режим доступа: https://fedstat.ru/indicator/57608 (дата обращения: 10.02.2025 г.).

[2]Министерство природных ресурсов и экологии Иркутской области. Официальный сайт. Карта ОПИ Иркутской области. Режим доступа: https://irkobl.ru/sites/ecology/working/nedro/ (дата обращения: 10.02.2025 г.).

бы стать производство дорожных изделий из серобетона – бортовых камней дорожных и тротуарных, тротуарной плитки, дорожных ограждений, элементов системы дорожного водоотвода. Широко применяемые в настоящее время изделия из сухопрессованного цементобетона в условиях частых переходов температуры окружающего воздуха через 0 °С, в совокупности с воздействием противогололедных материалов на основе солевых растворов и смесей, фактически выдерживают не более 3–5 лет эксплуатации, а в лабораторных условиях – до 20 циклов замораживания/оттаивания при испытаниях на морозостойкость [15,16]. При этом правилами расчета размера бюджетных ассигнований федерального бюджета на капитальный ремонт, ремонт и содержание автомобильных дорог федерального значения установлен межремонтный срок эксплуатации автомобильных дорог, равный 12-и годам между ремонтами, и 24-ем годам между капитальными ремонтами. Для обеспечения данных сроков заказчики вынуждены применять существенно более дорогие изделия из натурального камня, стоимость которых трехкратно превышает цены на изделия из сухопрессованного цементобетона и варьируется в пределах от 25 000 до 39 000 руб./м^3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализируя зарубежные и отечественные исследования, следует сделать вывод, что главной задачей дальнейших исследований является рациональный подбор различных составов серобетона, в том числе с добавками для производства широкой номенклатуры изделий, способных выдерживать срок межремонтной эксплуатации, сравнимый с изделиями из натурального камня, при стоимостных показателях, сравнимых с изделиями из сухопрессованного цементобетона, и таким образом снизить затраты бюджетной системы Российской Федерации на поддержание инфраструктуры автомобильных дорог в нормативном состоянии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Meyer B. Elemental Sulfur // Chemical Reviews. 1976. Vol. 76. Iss. 3. P. 367–388. https://doi.org/10.1021/cr60301a003.
2. Ruiz-Garcia J., Anderson E.M., Greer S.C. Shear Viscosity of Liquid Sulfur Near the Polymerization Temperature // The Journal of Physical Chemistry. 1989. Vol. 93. Iss. 19. P. 6980–6983. https://doi.org/10.1021/j100356a020.
3. Loov R.E., Vroom A.H., Ward M.A. Sulfur Concrete-A New Construction Material // PCI Journal. 1974. Vol. 19. Iss. 1. P. 86–95. https://doi.org/10.15554/pcij.01011974.86.95.
4. El Gamal M.M., El-Dieb A.S., Mohamed Abdel-Mohsen O., El Sawy Kh.M. Performance of Modified Sulfur Concrete Exposed to Actual Sewerage Environment with Variable Temperature, Humidity and Gases // Journal of Building Engineering. 2017. Vol. 11. P. 1–8. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.03.009.
5. Kazmi A. New Al Ain Plant to Produce Sulphur Concrete for Construction Industry // Gulf News. 2019. Режим доступа: https://gulfnews.com/business/new-al-ain-plant-to-produce-sulphur-concrete-for-construction-industry-1.68499 (дата обращения: 04.02.2025).
6. Dugarte M., Martinez-Arguelles G., Torres J. Experimental Evaluation of Modified Sulfur Concrete for Achieving Sustainability in Industry Applications // Sustainability. 2019. Vol. 11. Iss. 1. P. 1–16. https://doi.org/10.3390/su11010070.
7. Fediuk R., Mugahed Amran Y.H., Mosaberpanah M.A., Danish A., El-Zeadani M., Klyuev S.V. et al. A Critical Review on the Properties and Applications of Sulfur-Based Concrete // Materials. 2020. Vol. 13. Iss. 21. P. 1–23. https://doi.org/10.3390/ma13214712.
8. Mohamed Abdel-Mohsen, El Gamal M. Sulfur Concrete for the Construction Industry: A Sustainable Development Approach. Fort Lauderdale: J. Ross Publishing, 2010. 448 p.
9. Fazli A., Fathi S., Fazli M., Fathi B. Collation The Durability of Modified and Non-Modified
Sulfur Concrete in Erosive Environments // International Journal of Structural Analysis and Design. 2014. Vol. 1. Iss. 3. P. 1–8.
10. Шагиева Д.Р., Храмов Ю.В. Оценка экологического воздействия серохранилищ // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. № 9. С. 269–271. EDN: TZBFGN.
11. Сабиров Р.Ф., Махоткин А.Ф. Анализ известных способов переработки серы в серобетон, сероасфальт и другие продукты // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19. № 20. С. 69–72. EDN: XAMGHB.
12. Ерофеев В.Т., Соломатов В.И., Яушева Л.С. Технология и свойства строительных композитов на серных связующих // Вестник МГУ. 1997. № 2-3. С. 134–139.
13. Нагибин Г.Е., Назиров Р.А., Добросмыслов С.С., Федорова Е.Н., Задов В.Е., Шевченко В.А. Вяжущие на основе технической серы и золошлаковых отходов // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: техника и технологии. 2013. Т. 6. № 6. С. 689–698. EDN: REFSXH.

14. Sangine E., Textoris S.D. Mineral Commodity Summaries 2024. Virginia: U.S. Geological Survey, 2024. P. 172–173. https://doi.org/10.3133/mcs2024.
15. Лебедева К.Ю., Салтанова Ю.В., Пахомовский А.Н., Корзун Н.Л. Исследования агрессивной активности соли ОАО «Тыретский солерудник» на цементобетон // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2015. № 1 (12). С. 95–105. EDN: TQMJXF.
16. Долгова А.В., Животкова И.А., Козлов Г.А. Сравнительный анализ технических характеристик плиток бетонных тротуарных // Инженерный вестник Дона. 2024. № 8 (116). С. 505–513. EDN: TVSAQJ.

REFERENCES

1. Meyer B. Elemental Sulfur. *Chemical Reviews.* 1976;76(3):367-388. 10.1021/cr60301a003
2. Ruiz-Garcia J., Anderson E.M., Greer S.C. Shear Viscosity of Liquid Sulfur Near the Polymerization Temperature. *The Journal of Physical Chemistry.* 1989;93(19):6980-6983. https://doi.org/10.1021/j100356a020.
3. Loov R.E., Vroom A.H., Ward M.A. Sulfur Concrete-A New Construction Material. *PCI Journal*. 1974;19(1):86-95. https://doi.org/10.15554/pcij.01011974.86.95.
4. El Gamal M.M., El-Dieb A.S., Mohamed Abdel-Mohsen O., El Sawy Kh.M. Performance of Modified Sulfur Concrete Exposed to Actual Sewerage Environment with Variable Temperature, Humidity and Gases. *Journal of Building Engineering.* 2017;11:1-8. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.03.009.
5. Kazmi A. New Al Ain Plant to Produce Sulphur Concrete for Construction Industry. *Gulf News.* 2019. Available from: https://gulfnews.com/business/new-al-ain-plant-to-produce-sulphur-concrete-for-construction-industry-1.68499 [Accessed 4th February 2025].
6. Dugarte M., Martinez-Arguelles G., Torres J. Experimental Evaluation of Modified Sulfur Concrete for Achieving Sustainability in Industry Applications. *Sustainability.* 2019;11(1):1-16. https://doi.org/10.3390/su11010070.
7. Fediuk R., Mugahed Amran Y.H., Mosaberpanah M.A., Danish A., El-Zeadani M., Klyuev S.V. et al. A Critical Review on the Properties and Applications of Sulfur-Based Concrete. *Materials.* 2020;13(21):1-23. https://doi.org/10.3390/ma13214712.
8. Mohamed Abdel-Mohsen, El Gamal M. *Sulfur Concrete for the Construction Industry: A Sustainable Development Approach.* Fort Lauderdale: J. Ross Publishing, 2010. 448 p.
9. Fazli A., Fathi S., Fazli M., Fathi B. Collation The Durability of Modified and Non-Modified Sulfur Concrete in Erosive Environments. *International Journal of Structural Analysis and Design.* 2014;1(3):1-8.
10. Shagieva D.R., Khramov Yu.V. Assessment of The Environmental Impact of Sulfur Storage Facilities. *Herald of Technological University.* 2015;18(9):269-271. (In Russ.). EDN: TZBFGN.
11. Sabirov R.F., Makhotkin A.F. Analysis of Known Methods for Processing Sulfur into Sulfur Concrete, Sulfur Asphalt and Other Products. *Herald of Technological University.* 2016;19(20):69-72. (In Russ.). EDN: XAMGHB.
12. Erofeev V.T., Solomatov V.I., Yausheva L.S. Technology and Properties of Building Composites Based On Sulfur Binders. *Vestnik MGU.* 1997;2-3:134-139. (In Russ.).
13. Nagibin G.E., Nazirov R.A., Dobrosmyslov S.S., Fedorova E.N., Zadov V.E., Shevchenko V.A. Sulfur Concrete with Ash Waste. *Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies.* 2013;6(6):689-698. (In Russ.). EDN: REFSXH.
14. Sangine E., Textoris S.D. *Mineral Commodity Summaries 2024.* Virginia: U.S. Geological Survey, 2024. p. 172–173. https://doi.org/10.3133/mcs2024.
15. Lebedeva K.Iu., Saltanova Iu.V., Pahomovskii A.N., Korzun N.L. The Research of Aggressive Activity of Salt in JSC “Tyretskii Solerudnik” Of The Cement Concrete Content. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2015;1(12):95-105. (In Russ.). EDN: TQMJXF.
16. Dolgova A.V., Zhivotkova I.A., Kozlov G.A. Comparative Analysis of Technical Characteristics of Concrete Paving Slabs. *Engineering Journal of Don.* 2024;8(116):505-513. (In Russ.). EDN: TVSAQJ.

Информация об авторе

Малышев Владимир Николаевич,
советник руководителя,
Федеральное казенное учреждение Управление федеральных автомобильных дорог «Южный Байкал» Федерального дорожного агентства,
670000, г. Улан-Удэ, ул. Советская, 18, Россия,
✉e-mail: malyshev0000@gmail.com
https://orcid.org/0009-0008-3945-5084

Information about the author

Vladimir N. Malyshev,
Advisor to the Head,
Federal Highway Administration “South Baikal” of the Federal Road Agency,
18 Sovetskaya St., Ulan-Ude 670000,
Russia,
✉e-mail: malyshev0000@gmail.com
https://orcid.org/0009-0008-3945-5084

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 12.02.2025.
Одобрена после рецензирования 10.03.2025.
Принята к публикации 12.03.2025.

Information about the article

The article was submitted 12.02.2025.
Approved after reviewing 10.03.2025.
Accepted for publication 12.03.2025.

Научная статья
УДК 69.05
EDN: KPVVRM
DOI: 10.21285/2227-2917-2025-2-257-265

О результатах анализа проектной документации для строительства, разработанной с использованием технологий информационного моделирования

А.Р. Никитин[1]✉, С.А. Синенко[2]
[1,2]Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются результаты анализа проектной документации для строительства, разработанной с применением технологий информационного моделирования. Основная цель исследования заключается в изучении эффективности и перспектив применения цифровой информационной модели в строительной отрасли. В ходе работы были проанализированы особенности проектной документации, созданной с использованием цифровой информационной модели, а также преимущества и недостатки данного вида проектирования. Результаты исследования позволяют сделать вывод о значимом вкладе технологий информационного моделирования в процесс проектирования и строительства. Анализ цифровых информационных моделей, а также созданной на их основание проектной документации, позволяет выявить особенности структуры модели, качество информации и уровень детализации. В статье рассматривается возможность интеграции моделей и искусственного интеллекта, а также то, какие предполагаемые результаты даст для строительной отрасли такое сотрудничество. Полученные в результате анализа проектные данные могут быть полезны как для специалистов в области строительства, проектирования, службы эксплуатации, так и для специалистов, занимающихся развитием BIM-технологий и их внедрением в практику. Технологии информационного моделирования дают значительные преимущества в сфере строительства, обеспечивая более эффективное взаимодействие между участниками строительного процесса, улучшенное планирование и контроль за проектом. Это способствует повышению качества проектной документации, строительно-монтажных работ и пусконаладочных работ, снижению рисков, соблюдению бюджета и сроков строительства.

***Ключевые слова*:** проектная документация, технологии информационного моделирования, цифровая информационная модель, искусственный интеллект

***Для цитирования*:** Никитин А.Р., Синенко С.А. О результатах анализа проектной документации для строительства, разработанной с использованием технологий информационного моделирования // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 2. С. 257–265. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-257-265. EDN: KPVVRM.

Original article

On the results of the analysis of design documentation for construction, developed using information modeling technologies

Alexander R. Nikitin[1]✉, Sergey A. Sinenko[2]
[1,2]National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Abstract. The article discusses the results of the analysis of design documentation for construction, developed using information modeling technologies. The main purpose of the study is to study the effectiveness and prospects of applying the digital information model in the construction industry. In the course of the work, the specifics of the design documentation created using the digital information model, as well as the advantages and disadvantages of this type of design were analyzed. The research results allow us to conclude that information modeling technologies make a significant contribution to the design and construction process. The analysis of digital information models, as well as the design documentation

© Никитин А.Р., Синенко С.А., 2025

created on their basis, makes it possible to identify the features of the model structure, the quality of information and the level of detail. The article discusses the possibility of integrating models and artificial intelligence, as well as the expected results of such cooperation for the construction industry. The design data obtained as a result of the analysis can be useful both for specialists in the field of construction, design, maintenance, and for specialists involved in the development of BIM technologies and their implementation in practice. Information modeling technologies provide significant advantages in the construction industry, providing more effective interaction between participants in the construction process, improved planning and project control. This helps to improve the quality of project documentation, construction and installation work and commissioning, reduce risks, comply with the budget and construction deadlines.

Keywords: project documentation, information modeling technologies, digital information model, artificial intelligence

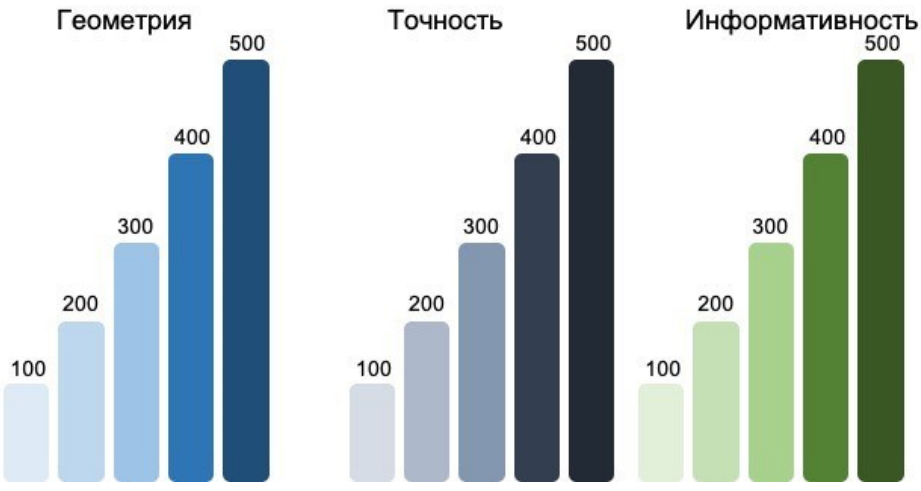
For citation: Nikitin A.R., Sinenko S.A. On the results of the analysis of design documentation for construction, developed using information modeling technologies. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(2):257-265. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-257-265. EDN: KPVVRM.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время строительная отрасль сталкивается с растущим спросом на более эффективные и инновационные подходы к проектированию и строительству. Одной из таких технологий, которая активно внедряется в данной сфере, является информационное моделирование зданий.

Результатом применения данной технологий является цифровая информационная модель, которая используется на протяжении всего жизненного цикла объекта строительства и передается службе эксплуатации объекта [1]. Цифровая информационная модель (ЦИМ) представляет собой цифровую трехмерную модель здания, которая включает в себя геометрические параметры и информационные данные строящегося объекта, которые наполняют модель в течении всего его жизненного цикла.

Важно отметить, что в зависимости от стадии, в котором находится проект (предпроектная проработка, разработка проектной и рабочей документации, исполнительная документация и т. д.), модель может иметь различные уровни проработки, соответственно на каждом этапе жизненного цикла к модели могут применяться определенные требования. Стандарт ISO 19650 подробно описывает уровни детализации информационной модели [2, 3].



Уровни детализации информационной модели (LOD)
Levels of detail of the information model (LOD)

Одним из ключевых преимуществ технологии информационного моделирования (ТИМ) является возможность улучшения качества проектной документации за счет более полного и точного представления данных и предоставленных визуальных возможностей. В совокупности такой подход дает возможность выполнить анализ принятых проектных решений и

выявить неточности и ошибки на ранней стадии проектирования. ЦИМ позволяет оптимизировать взаимодействие между участниками проекта, сокращать сроки проектирования и строительства, повышать эффективность управления объектом во время строительства и на этапе эксплуатации. Однако для эффективного использования ЦИМ необходимо не только внедрить соответствующее программное обеспечение, но и обучить специалистов работе с этими инструментами [4].

Исследования, проведенные в области применения ТИМ, указывают на то, что успешное внедрение этой технологии часто сопровождается улучшением качества проектной документации и увеличением производительности труда участников проекта. Однако необходимо более тщательно проанализировать результаты, чтобы определить конкретные показатели эффективности внедрения ТИМ и выявить факторы, влияющие на успешность применения данной технологии в конкретных проектах. Важным фактором, влияющим на дальнейшее развитие проектирования с помощью ТИМ, является развитие нейросетей. Совокупность технологий информационного моделирования и искусственного интеллекта (ИИ) может значительно повысить качество информационной модели и проектной документации, созданной на основе ЦИМ [5–7].

Целью данной статьи является анализ проектной документации для строительства, разработанной с использованием технологий информационного моделирования для выявления ключевых характеристик, влияющих на оценку этой документации. Для достижения этой цели предполагается изучить ряд аспектов проектной документации, включая структуру модели, качество информации, уровень детализации, соответствие стандартам и т. д.

Основными методами исследования является анализ существующих проектных документов, анкетирование участников проекта, сравнение проектной документации, разработанной с применением ТИМ, со стандартными методами проектирования. Также планируется оценить реакцию заказчиков на качество выпущенной документации и проведение экспертной оценки проектных решений, включенных в модели здания [8]. Результаты данного исследования могут быть полезны как для специалистов в области строительства и проектирования, желающих оценить эффективность применения ТИМ, так и для научного сообщества, занимающегося развитием информационного моделирования в строительстве. Предполагается, что полученные данные позволят лучше понять влияние ТИМ на качество проектной документации, определить степень его оправданности и возможные пути улучшения процесса внедрения и использования данной технологии. Полученные в ходе данного исследования результаты могут быть интересны специалистам строительной отрасли, применяющих или планирующих применять ТИМ в своей профессиональной деятельности, а также для научных сотрудников, занимающихся вопросами развития и совершенствования ТИМ в строительной сфере. Ожидается, что результаты исследования позволят сформировать более полное представление о воздействии ТИМ на качество проектной документации, определить степень оправданности его внедрения и выявить потенциальные направления оптимизации процессов интеграции и применения данных технологий.

МЕТОДЫ

В ходе исследования авторами применялся комплексный подход, включающий как количественные, так и качественные методы анализа.

При проведении исследования были учтены возможные ограничения эксперимента, которые могли бы повлиять на результаты исследования. К этим ограничениям относятся: ограниченный выбор проектов, субъективность оценок экспертов, применение для проектирования различных программных комплексов. Для минимизации влияния ограничений было принято решение по увеличению выборки и количества опрашиваемых экспертов [5]. Материалом для исследования послужила проектная документация, разработанная для пяти типов объектов: жилые многоквартирные дома, офисные здания, общественные здания, промышленные объекты и инфраструктурные сооружения. Для каждого типа объекта была рассмотрена документация, разработанная в 2D и с помощью ТИМ.

Всего было рассмотрено десять комплектов проектной документации. Критерии отбора проектов включали:

1. Географическое расположение: проекты из разных регионов для охвата специфики нормативных требований и стандартов.

2. Этап реализации: проекты на различных стадиях – от концепции до рабочей документации.

3. Размер и сложность проекта: для оценки влияния масштаба на эффективность использования.

Методы исследования включали в себя:

1. Детальный анализ отобранной проектной документации с целью оценки:

– структуры моделей: анализ иерархии эле-

ментов, логики построения моделей, использования шаблонов и семейств;

– качества информации: проверка точности геометрических параметров, соответствия техническим требованиям, наличия необходимых метаданных;

– уровня детализации (LOD): оценка соответствия уровня детализации этапу проектирования согласно международным стандартам (LOD 100–500 по классификации ТИМ);

– соответствия стандартам: проверка на соответствие национальным и международным стандартам проектирования и информационного моделирования (ФЗ, СП, ГОСТ, ISO).

2. Анкетирование специалистов, принимавших участие в разработке, проверке и реализации проектов.

Для анкетирования было отобрано десять специалистов. Среди них присутствовали проектировщики, специалисты в области ТИМ, специалисты службы технического заказчика. Все эксперты состоят в Национальном объединении изыскателей и проектировщиков и имеют опыт работы не менее пяти лет в области проектирования и проверки проектной документации.

В табл. 1 представлен образец анкеты, заполненный одним из экспертов.

Таблица 1. Шаблон анкеты для опроса экспертов
Table 1. The template of the questionnaire for the survey of experts

№	Блок вопросов	Вопрос	Ответ
1	Персональные данные	Должность	Главный инженер проекта
		Опыт работы (лет)	10
		Уровень владения ТИМ (начальный, средний, уверенный)	уверенный
2	Оценка преимуществ ТИМ	Влияние ТИМ на качество Вашей работы	(х) Значительно улучшило () Улучшило () Без изменения () Значительно ухудшило () Затрудняюсь ответить
		Влияние ТИМ на коммуникацию в команде	() Значительно улучшило (х) Улучшило () Без изменения () Значительно ухудшило () Затрудняюсь ответить
		Способность ТИМ выявлять ошибки в проектной документации	() Очень эффективно () Эффективно (х)Удовлетворительно () Неэффективно () Затрудняюсь ответить
3	Идентификация проблем и недостатков	Сложности в освоении технологий ТИМ	Недостаток квалифицированных специалистов, интеграция со строительной площадкой
		Технические ограничения ТИМ	Совместимость программного обеспечения, ограничения при использовании на крупных проектах с большим объемом данных, обновление данных модели на протяжении жизненного цикла проекта
		Организационные барьеры при использовании ТИМ	Недостаточное взаимодействие между участниками процесса, поддержка программного обеспечения
4	Предложения по улучшению	Рекомендации по оптимизации процессов, связанных с использованием ТИМ	Автоматизация рутинных задач с помощью ИИ, обновление модели в режиме реального времени
		Рекомендации по обучению персонала работе с ТИМ	Постоянное повышение квалификации, совместное обучение команды проекта
		Рекомендации по внедрению стандартов ТИМ	Разработка внутренних стандартов организации, создание системы контроля на основе ИИ, обмен опытом

Дополнительно к анкетированию были проведены интервью со всеми экспертами, участвующими в опросе, для более глубокого понимания проблем, выявленных в использовании ТИМ, обсуждения лучших практик и кейсов для внедрения современных технологий в проектирование и сбора экспертных мнении о перспективах развития ТИМ в проектировании зданий и сооружений.

3. Сравнительный анализ.

Для объективного сравнения проектной документации, разработанной с применением ТИМ и традиционных методов, были определены ключевые показатели эффективности (KPI):

– время разработки: оценка сроков разработки проектной документации;

– количество выявленных ошибок: анализ коллизий и несоответствий в документации;

– полнота информации: наличие всех необходимых данных для строительства, включая спецификации, ведомости объемов работ и т. д.

Сравнительный анализ проводился с использованием статистических методов обработки данных. Для оценки значимости различий применялись критерии Стьюдента.

Кроме того, авторами статьи были проанализированы действующие нормативные документы, национальные и международные стандарты, регламентирующие применение ТИМ в проектировании и строительстве.

Особое внимание уделялось требованиям к структуре и содержанию цифровой модели, регламентам обмена информацией между участниками проекта, и стандартам, связанным с уровнем детализации информации, указанной в модели [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Детальный анализ проектной документации, отобранной для проведения эксперимента, представлен в табл. 2.

В таблице указаны характерные для большинства рассмотренных проектов проблемы.

Таблица 2. Результаты анализа проектной документации
Table 2. The results of the analysis of the project documentation

Критерий анализа	Выявленные проблемы	Рекомендации
Структура модели		
Иерархия элементов	Некорректное расположение второстепенных элементов (мебель, оборудование)	Пересмотреть иерархию элементов, перенести второстепенные элементы в отдельные категории
Логика построения	Использование нецелевых семейств для конструктивных элементов	Оптимизировать использование стандартных семейств, заменить индивидуальные элементы при необходимости
Использование шаблонов и семейств	Несоответствие параметров индивидуальных семейств техническим характеристикам	Унифицировать семейства, привести параметры к стандартам и требованиям проекта
Качество информации		
Точность геометрии	Небольшие расхождения в размерах элементов (например, толщина стен), конфликты между архитектурными, конструктивными и инженерными элементами, такие как пересечения трубопроводов с конструкциями	Провести проверку геометрии, исправить несоответствия с проектной документацией
Соответствие техническим требованиям	Отсутствие информации о материалах для некоторых элементов, ошибки в маркировке оборудования	Добавить недостающую информацию о материалах, исправить маркировку согласно требованиям
Метаданные	Неполные метаданные (отсутствие данных о производителях и характеристиках инженерных систем)	Заполнить обязательные поля метаданных для всех элементов в модели
Уровень детализации (LOD)		
Проектная документация	Соответствует большинству элементов, но некоторые элементы (окна, двери, инженерные системы) проработаны излишне детально (LOD 400)	Уменьшить уровень детализации инженерных систем до LOD 300 для оптимизации модели

Окончание табл. 2

Рабочая документация	Недостаточная информация о способах установки, требованиях к крепежу и соединениям	Увеличить уровень детализации до LOD 400
Соответствие стандартам		
Национальные стандарты (ФЗ, СП, ГОСТ)	Частичное несоответствие СП 333.1325800.2017 (отсутствие обязательных метаданных, недостаточная детализация некоторых элементов)	Доработать метаданные и детализацию на уровне LOD 300 для соответствия СП
Международные стандарты (ISO 19650)	Нарушение требований по структуре общих данных, несоответствие стандартам именования файлов	Внедрить единую систему именования файлов, следовать процессам совместного использования данных

Проведенный анализ проектной документации показал, что структура моделей в целом соответствует проектным требованиям, однако имеются проблемы с унификацией семейств и логикой их построения.

Качество информации в большинстве случаев удовлетворительно, но требует доработки в части метаданных и точности геометрических параметров.

Уровень детализации моделей в ряде случаев превышает необходимый для текущего этапа проектирования, что может замедлить процесс согласования и увеличивает объем модели. Проекты частично соответствуют национальным и международным стандартам, однако требуется доработка в области интеграции данных и именования файлов.

Ответы, полученные в результате проведенного анкетирования и интервью со специалистами в области проектирования с помощью систем автоматизированного проектирования, были сведены в несколько пунктов:

1. Большинство специалистов указали на высокую сложность интерфейсов и необходимость постоянного обучения из-за частых обновлений программного обеспечения.

2. Важной проблемой остается совместимость между различными системами.

3. Основным организационным барьером для развития ТИМ специалисты указали сопротивление изменениям со стороны ряда сотрудников и руководства организации.

4. Основными направлениями оптимизации процессов являются: внедрение интегрированных платформ, использование облачных технологий и автоматизация процессов с помощью ИИ.

5. Для успешного использования ТИМ необходимо регулярное обучение, создание внутрикорпоративных образовательных центров для обмена информацией, использование сертифицированных программных обеспечений, имеющих постоянную поддержку и обновление.

Анкетирование выявило необходимость в комплексном подходе к внедрению и использованию ТИМ.

Специалисты отметили, что важно не только техническое оснащение, но и организационная поддержка, включающая обучение и стандартизацию.

Для проведения сравнительного анализа проектной документации, разработанной в 2D и с помощью ТИМ, авторами были определены критерии анализа с целью сравнения двух средних значений полученных показателей из независимых выборок с использованием критерия Стьюдента по формуле:

$$t = ((\bar{x}_1 - \bar{x}_2)/\sqrt{((s_1{}^2/n_1) + (s_2{}^2/n_2))} \qquad (1)$$

где $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$ – средние значения двух выборок, s_1 и s_2 – стандартные отклонения двух выборок, n_1 и n_2 – количества наблюдений в двух выборках.

Среднее время разработки проектной документации

Среднее время разработки для проектов, разработанных с помощью ТИМ: $\bar{x}_1$ = 120 дней.

Среднее время разработки для проектов, разработанных традиционными методами: $\bar{x}_2$ = 180 дней.

Стандартное отклонение времени разработки для проектов, разработанных с помощью ТИМ: s_1 = 10 дней.

Стандартное отклонение времени разработки для проектов, разработанных традиционными методами: s_2 = 15 дней.

Количество наблюдений в обоих выборках: $n_1 = n_2 = 10$.

Критерий Стьюдента t = -3,15.

Полнота информации

Средний уровень полноты информации для проектов, разработанных с помощью ТИМ: $\bar{x}_1$ = 75 %.

Средний уровень полноты информации для проектов, разработанных традиционными методами: $\bar{x}_2$ = 60 %.

Стандартное отклонение полноты информации для проектов, разработанных с помощью ТИМ: s_1 = 2%

Стандартное отклонение полноты информации для проектов, разработанных традиционными методами: s_2 = 3 %.

Количество наблюдений в обоих выборках: $n_1 = n_2 = 10$.

Критерий Стьюдента t = 13,16.

Количество выявленных ошибок

Средний количество ошибок для проектов, разработанных с помощью ТИМ: $\bar{x}_1$ = 125.

Средний количество ошибок для проектов, разработанных традиционными методами: $\bar{x}_2$ = 164.

Стандартное отклонение количества ошибок для проектов, разработанных с помощью ТИМ: s_1 = 20.

Стандартное отклонение количества для проектов, разработанных традиционными методами: s_2 = 25.

Количество наблюдений в обоих выборках: $n_1 = n_2 = 10$.

Критерий Стьюдента t = -2,72.

Для определения значимости результатов критерия Стьюдента, необходимо рассчитать значение p, которое представляет собой вероятность того, что наблюдаемая разница между двумя средними значениями является случайной.

Для этого использовались таблицы критерия Стьюдента.

Значения p

Время разработки: p = 0,004 (значимая разница при уровне значимости 0,05).

Полнота информации: p = 0,0001 (значимая разница при уровне значимости 0,05).

Количество выявленных ошибок: p = 0,001 (значимая разница при уровне значимости 0,05).

На основе рассчитанных значений p можно заключить, что наблюдаемые разницы между средними значениями времени разработки, полноты информации и уровня взаимодействия участников проекта, разработанными с помощью ТИМ и традиционными методами, являются значимыми при уровне значимости 0,05. В ходе выполнения анализа нормативно-технической документации было проанализировано более 100 стандартов и сводов правил в области технологий информационного моделирования, компьютерного моделирования и ИИ. Анализ показал, что, несмотря на значительный прогресс в области ТИМ и ИИ, необходимо дальнейшее развитие и уточнение регламентов для обеспечения согласованности и эффективности применения ТИМ в проектировании и строительстве. Особое внимание следует уделить разработке единых стандартов в области ТИМ и ИИ, более детальному определению требований к уровню детализации, процедурам обмена информацией и управлению жизненным циклом данных в ЦИМ. Это позволит повысить качество и эффективность строительных проектов, минимизировать риски и улучшить взаимодействие между участниками проекта [10–13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги анализа проектной документации подчеркивают потенциал информационных технологий и ИИ. Использование цифровой информационной модели не просто улучшает процесс проектирования и строительства, но и кардинально меняет подход к управлению проектами, предоставляя специалистам инструменты для комплексного анализа. Происходит оптимизация проектных решений на всех этапах жизненного цикла объекта строительства.

Преимущества ТИМ выражаются в более точных проектных решениях, уменьшая количество неточностей и ошибок, допущенных в проектной документации. Это одновременно снижает затраты и ускоряет процесс строительства. Для полноценного раскрытия потенциала цифровой информационной модели необходимо не только техническое оснащение и качественное программное обеспечение, но и обучение и адаптация специалистов к новым технологиям и методам работы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Синенко С.А., Савин И.М. Цифровизация деятельности подрядных строительных организаций // Строительное производство. 2023. № 2. С. 146–149. https://doi.org/10.54950/26585340_2023_2_146. EDN: EVUHRW.

2. Berger R. Digitization in The Construction Industry. Germany: Munich, 2016. 15 p.

3. Tsay G.S., Staub-French S., Poirier E., Zadeh P., Pottinger R. BIM for FM: Understanding Information Quality Issues in Terms of Compliance with Owner's Building Information Modeling Requirements // Frontiers in Built Environment. 2023. Vol. 9. P. 1–30. https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1117066.

4. Верстина Н.Г., Кисель Т.Н., Кулаков Т.Ю. Внедрение инновационных технологий на предприятиях инвестиционно-строительной сферы: проблемы и определяющие факторы // E-Management. 2022. Т. 5.

№ 1. С. 4–13. https://doi.org/10.26425/2658-3445-2022-5-1-4-13. EDN: SPXUXG.
5. Сычева И.В., Леонтьева Т.С., Воронцов Д.Д. Использование информационного моделирования как инструмента снижения себестоимости строительства // Вестник Института экономических исследований. 2022. № 2 (26). С. 85–91. EDN: HAVFCW.
6. Теличенко В.И., Лапидус А.А., Слесарев М.Ю. Анализ и синтез образов экологически ориентированных инновационных технологий строительного производства // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. № 8. С. 1298–1305. https://doi.org/10.22227/1997-0935.2023.8.1298-1305. EDN: RNDOCL.
7. Никитин А.Р., Синенко С.А. О разработке методики оценки качества проектной документации, подготовленной с помощью информационного моделирования // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2023. Сб. докладов IV Национальной науч. конф. (г. Москва, 15 декабря 2023 г.). М., 2024. С. 668–674. EDN: TUXMEJ.
8. Синенко С.А., Никитин А.Р. Определение критериев оценки проектной документации, подготовленной с помощью информационного моделирования // Строительное производство. 2024. № 2. С. 88–94. https://doi.org/10.54950/26585340_2024_2_88. EDN: SGGPSM.
9. Киль Е.А., Филиппов А.Г., Татаринцев Н.И., Зеньков С.А., Филимендикова Р.Э. Оценка влияния внедрения технологий информационного моделирования на стоимость проектных работ // Инновации и инвестиции. 2022. № 10. С. 220–222. EDN: VINJSN.
10. Candir E., Atasoy G. Exploring Quality Issues in Building Information Models Via Structural Design Reviews // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1101. P. 1–11. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1101/9/092011.
11. Вишнивецкая А.И., Аблязов Т.Х. Цифровая стратегия как основа цифровой трансформации строительных организаций // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2019. Т. 9. № 3-1. С. 11–20. https://doi.org/10.34670/AR.2019.89.3.001. EDN: ARYAID.
12. Пенькова Т.Г., Вайнштейн Ю.В. Модели и методы искусственного интеллекта. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2019. 116 с.
13. Brown T.B., Mann B., Ryder N., Subbiah M., Kaplan J., Dhariwal P. [et al.] Language Models Are Few-Shot Learners // NIPS'20: Proceedings of the 34th International Conference on Neural Information Processing Systems. 2020. P. 1877–1901. https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.14165.

REFERENCES

1. Sinenko S.A., Savin I.M. Digitalization of Activities of Contracting Construction Organizations. *Construction Production.* 2023;2:146-149. (In Russ.). https://doi.org/10.54950/26585340_2023_2_146. EDN: EVUHRW.
2. Berger R. Digitization in The Construction Industry. Germany: Munich, 2016. 15 p.
3. Tsay G.S., Staub-French S., Poirier E., Zadeh P., Pottinger R. BIM for FM: Understanding Information Quality Issues in Terms of Compliance with Owner's Building Information Modeling Requirements. *Frontiers in Built Environment.* 2023;9:1-30. https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1117066.
4. Verstina N.G., Kisel T.N., Kulakov K.Yu. Innovative Technologies Implementation to The Investment and Construction Industry: Problems and Determining Factors. *E-Management*. 2022;5(1):4-13. (In Russ.). https://doi.org/10.26425/2658-3445-2022-5-1-4-13. EDN: SPXUXG.
5. Sycheva I.V., Leontyeva T.S., Vorontsov D.D. The Use of an Information Modeling as A Tool to Reduce the Construction Cost. *Economic Research Institute Journal.* 2022;2(26):85-91. (In Russ.). EDN: HAVFCW.
6. Telichenko V.I., Lapidus A.A., Slesarev M.Yu. Analysis and Synthesis of Images of Environmentally Oriented Innovative Technologies of Construction Production. *Monthly Journal on Construction and Architecture*. 2023;18(8):1298-1305. (In Russ.). https://doi.org/10.22227/1997-0935.2023.8.1298-1305. EDN: RNDOCL.
7. Nikitin A.R., Sinenko S.A. On The Development of a Methodology for Assessing the Quality of Project Documentation Prepared Using Information Modeling. In: *Aktual'nye problemy stroitel'noi otrasli i obrazovaniya – 2023. Sbornik dokladov IV Natsional'noi nauchnoi konferentsii = Current Problems of the Construction Industry and Education – 2023. Collection of Reports of The IV National Scientific Conference.* 15 December 2023, Moscow. Moscow; 2024. p. 668–674. (In Russ.). EDN: TUXMEJ.
8. Sinenko S.A., Nikitin A.R. Determination of Criteria for Evaluating Project Documentation Prepared Using Information Modeling. *Construction Production*. 2024;2:88-94. (In Russ.). https://doi.org/10.54950/26585340_2024_2_88. EDN: SGGPSM.
9. Kiel E.A., Filippov A.G., Tatarintsev N.I., Zenkov S.A., Filimendikova R.E. Assessment of The Impact of the Introduction of Information Modeling Technologies On the Cost of Design Work. *Innovatsii i investitsii.* 2022;10:220-222. (In Russ.). EDN: VINJSN.
10. Candir E., Atasoy G. Exploring Quality Issues in Building Information Models Via Structural Design Reviews. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2022;1101:1-11. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1101/9/092011.
11. Vishnivetskaya A.I., Ablyazov T.Kh. Digital Strategy as A Basis for Digital Transformation of Construction

Organizations. *Economics: Yesterday, Today and Tomorrow.* 2019;9(3-1):11-20. (In Russ.). https://doi.org/10.34670/AR.2019.89.3.001. EDN: ARYAID.
12. Pen'kova T.G., Vainshtein Yu.V. *Models and Methods of Artificial Intelligence*. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2019. 116 p. (In Russ.).
13. Brown T.B., Mann B., Ryder N., Subbiah M., Kaplan J., Dhariwal P. [et al.] Language Models Are Few Shot Learners. *NIPS'20: Proceedings of the 34th International Conference on Neural Information Processing Systems.* 2020:1877-1901. https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.14165.

Информация об авторах

Никитин Александр Русланович,
аспирант,
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26,
Россия,
✉e-mail: A.Nikitin56@gmail.com
https://orcid.org/0009-0002-6755-8247
Author ID: 1241024

Синенко Сергей Анатольевич,
д.т.н., профессор
кафедры технологии и организация строительного производства,
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26,
Россия,
e-mail: sasin50@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-2212-750X
Author ID: 659012

Information about the authors

Alexander R. Nikitin,
Postgraduate Student,
National Research Moscow State University of Civil Engineering,
26 Yaroslavskoe Shosse, Moscow 129337, Russia,
✉e-mail: A.Nikitin56@gmail.com
https://orcid.org/0009-0002-6755-8247
Author ID: 1241024

Sergey A. Sinenko,
Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Technology and Organization of Construction Production,
National Research Moscow State University of Civil Engineering,
26 Yaroslavskoe Shosse, Moscow 129337, Russia,
e-mail: sasin50@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-2212-750X
Author ID: 659012

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.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 01.04.2025.
Одобрена после рецензирования 18.04.2025.
Принята к публикации 21.04.2025.

Information about the article

The article was submitted 01.04.2025.
Approved after reviewing 18.04.2025.
Accepted for publication 21.04.2025.

Научная статья
УДК 69.04
EDN: XVCKVW
DOI: 10.21285/2227-2917-2025-2-266-276

Предпосылки к эволюционному внедрению информационного моделирования в строительной отрасли

М.В. Пучков[1], И.Ф. Загрутдинов[2]✉
[1,2]Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

Аннотация. В статье рассматривается технология BIM, которая предоставляет возможность создавать детальные цифровые двойники зданий, чтобы проводить виртуальные обходы, выявлять коллизии и оптимизировать планировку еще на этапе проектирования. В статье исследуется применение BIM в управлении безопасностью и гигиеной труда на строительных площадках. Анализируются преимущества BIM в выявлении и минимизации рисков, оптимизации планирования и координации работ, а также в повышении производительности труда. В статье также представлен обзор международного опыта применения BIM и анализируются факторы, влияющие на его успешное внедрение. Определено, что BIM идентифицирует потенциальные опасности на ранних этапах проекта и в связи с этим можно разрабатывать меры по их предотвращению. BIM-модели обеспечивают детальную визуализацию проекта, чтобы улучшить планирование и координацию между различными участниками строительного процесса. Благодаря BIM можно эффективно использовать ресурсы и минимизировать простои. Внедрение требует подготовки специалистов, имеющих навыки работы с BIM-программным обеспечением и пониманием принципов информационного моделирования. Сделан вывод о том, что BIM имеет значительный потенциал для повышения безопасности и эффективности строительных процессов. Для успешного внедрения BIM необходимо решить ряд проблем, развить нормативно-правовую базу, а также подготовить кадры и создать соответствующую инфраструктуру.

Ключевые слова: строительная отрасль, моделирование, BIM, проект, риски, планирование, информационное моделирование

Для цитирования: Пучков М.В., Загрутдинов И.Ф. Предпосылки к эволюционному внедрению информационного моделирования в строительной отрасли // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 2. С. 266–276. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-266-276. EDN: XVCKVW.

Original article

Prerequisites for the evolutionary implementation of information modeling in the construction industry

Maxim V. Puchkov[1], Ildar F. Zagrutdinov[2]✉
[1,2]Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

Abstract. The article discusses BIM technology, which provides the opportunity to create detailed digital counterparts of buildings in order to conduct virtual rounds, identify collisions and optimize the layout at the design stage. The article explores the application of BIM in occupational safety and health management on construction sites. The advantages of BIM in identifying and minimizing risks, optimizing work planning and coordination, and improving labor productivity are analyzed. The article also provides an overview of international experience in the use of BIM and analyzes the factors influencing its successful implementation. It is determined that BIM identifies potential hazards at the early stages of the project and, in this regard, measures can be developed to prevent them. BIM models provide detailed visualization of the project in order to improve planning and coordination between the various participants in the

© Пучков М.В., Загрутдинов И.Ф., 2025

construction process. Thanks to BIM, resources can be used efficiently and downtime minimized. Implementation requires the training of specialists who have the skills to work with BIM software and an understanding of the principles of information modeling. It is concluded that BIM has significant potential for improving the safety and efficiency of construction processes. For the successful implementation of BIM, it is necessary to solve a number of problems, develop a regulatory framework, as well as train personnel and create the appropriate infrastructure.

Keywords: construction industry, modeling, BIM, project, risks, planning, information modeling

For citation: Puchkov M.V., Zagrutdinov I.F. Prerequisites for the evolutionary implementation of information modeling in the construction industry. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2025;15(2):266-276. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-266-276. EDN: XVCKVW.

ВВЕДЕНИЕ

Информационное моделирование зданий (BIM) выступает катализатором эволюционных преобразований в строительной индустрии, обеспечивая парадигмальный сдвиг от традиционных методов проектирования и строительства к интегрированному, основанному на данных подходу. Внедрение BIM сопряжено с комплексным управлением информационным жизненным циклом объекта, начиная от концептуального проектирования и заканчивая эксплуатацией.

BIM-технология предоставляет уникальные возможности для оптимизации междисциплинарного взаимодействия, минимизации рисков и повышения эффективности управления строительными проектами.

Анализ существующих исследований свидетельствует о том, что BIM обладает потенциалом для усиления безопасности на строительных площадках, посредством создания точных и согласованных цифровых моделей, которые выявляют потенциальные конфликты и несоответствия на ранних стадиях проектирования [1]. Кроме того, BIM способствует повышению качества строительной продукции за счет обеспечения понимания взаимосвязей между различными элементами проекта.

С точки зрения организационного развития, успешное внедрение BIM требует комплексного подхода, основанного не только на освоении новых технологий, но и на пересмотре существующих бизнес-процессов и развитии кадрового потенциала [2]. Систематическое развитие компетенций сотрудников в области BIM является одним из ключевых факторов, определяющих эффективность использования технологии.

Таким образом, информационное моделирование зданий представляет собой перспективную технологию, способную существенно повысить конкурентоспособность строительной отрасли. Для достижения максимального эффекта от внедрения BIM необходимо учитывать его взаимосвязь с другими инновационными технологиями и процессами, а также разрабатывать долгосрочные стратегии развития, направленные на создание цифровой трансформации строительной отрасли.

МЕТОДЫ

В данной работе был проведен комплексный анализ теоретических исследований, посвященных применению информационного моделирования зданий в области управления безопасностью труда в строительстве. Был проведен систематический обзор научной литературы, опубликованной в рецензируемых журналах и сборниках научных трудов. Для дополнения теоретического анализа был проведен анализ практических исследований, кейсы успешного внедрения BIM в строительных проектах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Информационное моделирование зданий предоставляет инновационные инструменты для оптимизации процессов управления безопасностью и гигиеной труда в строительной отрасли [3].

Детальные цифровые модели, создаваемые в рамках BIM-проектирования, помогают систематизировать информацию о потенциальных опасностях, связанных с выполнением строительных работ, и разработать эффективные меры по их минимизации.

Благодаря интеграции данных о геометрии объекта, материалах, технологических процессах и других релевантных факторах, BIM-модели обеспечивают основу для проведения комплексного анализа рисков и разработки планов по управлению безопасностью.

Также BIM способствует не только повышению уровня безопасности на строительных площадках, но и оптимизации организационных процессов. Основанное на данных BIM-модели планирование трудовых функций позволяет эффективно распределять ресурсы,

минимизировать конфликты между различными бригадами и повысить производительность труда. Кроме того, BIM способствует развитию новых компетенций у работников строительной отрасли, стимулируя спрос на высококвалифицированных специалистов в области информационного моделирования и управления проектами.

Согласно результатам исследования [4] спектр применения информационного моделирования зданий чрезвычайно широк и охватывает весь жизненный цикл объекта, начиная от этапа планирования (фиксация существующих условий), и заканчивая этапом эксплуатации и проведением анализа управления чрезвычайными ситуациями. В [5] отмечают, что BIM-технологии значительно упрощают работу всех участников строительного процесса (владельцев, менеджеров, проектировщиков, инженеров и подрядчиков).

В [6] авторы считают, что BIM стало преобразующей технологией в строительной отрасли, предлагающей значительный потенциал для снижения рисков, облегчения принятия обоснованных решений и повышения общей стоимости проекта. Следует отметить, что BIM имеет многочисленные преимущества, его внедрение сопряжено с новыми рисками, связанными с технологическими и договорными сложностями. Чтобы получить представление о том как BIM влияет на динамику рисков в строительных проектах, в рамках исследования был проведен всесторонний анализ с привлечением международных экспертов и практиков. Данные были собраны с помощью комбинации углубленных интервью, структурированных анкет и тематических исследований текущих проектов.

Результаты исследования показали, что BIM эффективно устраняет значительное количество существенных рисков, которые традиционно присущи строительным проектам. Однако исследование также выявило критический пробел в текущем состоянии внедрения BIM – отсутствие специального плагина, специально разработанного для управления рисками. Чтобы устранить ограничение, была разработана теоретическая основа с целью автоматизации процесса управления рисками и, таким образом, улучшения общей практики управления проектами. Исследования [7] подтверждают, что BIM может быть успешно применен на всех этапах жизненного цикла объекта – от проектирования до эксплуатации и реконструкции. Однако, несмотря на очевидные преимущества BIM, его потенциал в области деревянного строительства остается пока еще недостаточно реализованным.

Разработка и интеграция специального плагина для управления рисками BIM значительно увеличит преимущества, получаемые от его внедрения. Автоматизируя процессы идентификации, оценки и снижения рисков, он может оптимизировать рабочие процессы проекта, уменьшить количество ошибок и улучшить процесс принятия решений, что способствовало бы повышению эффективности проекта, снижению затрат и улучшению результатов [8]. Авторы исследования [9] подчеркивают преобразующий потенциал BIM в решении проблем, связанных с рисками в строительной отрасли. Признавая и удовлетворяя потребность в специальном плагине для управления рисками BIM, строительная отрасль может в полной мере использовать возможности BIM и достигать высоких уровней успеха проектов.

США являются первыми в области BIM, активно способствуя развитию и внедрению данной технологии в строительную отрасль. Государственные органы США, в частности Агентство по управлению строительными активами, сотрудничают с частным сектором, стимулируя применение BIM в различных проектах. Ключевую роль в координации этих усилий играет полуофициальный Национальный институт строительных наук, который разрабатывает и публикует Национальный стандарт информационного моделирования зданий (NBIMS) [10].

NBIMS является комплексным документом, который охватывает интеграцию международных стандартов, определение форматов обмена информацией, разработку методических рекомендаций и шаблонов контрактов. Регулярное обновление стандарта, последняя версия которого (NBIMS-US версия 3) была опубликована в 2015 г., свидетельствует о динамичном развитии BIM-технологий и необходимости адаптации нормативной базы к новым вызовам в строительной отрасли [11].

Опыт США в области внедрения BIM представляет значительный интерес для других стран, стремящихся повысить эффективность и качество строительных проектов. Так, Комитет по общественным работам исполнительной власти Китая, активно продвигая использование BIM в строительстве, ссылается на американский опыт как на один из примеров успешного развития данной технологии. США являются мировым лидером в области стандартизации и внедрения данной технологии. Разработанные стандарты и методики используются в других странах, способствуя формированию единого информационного пространства в строительной отрасли и повышению ее конкурентоспособности [12].

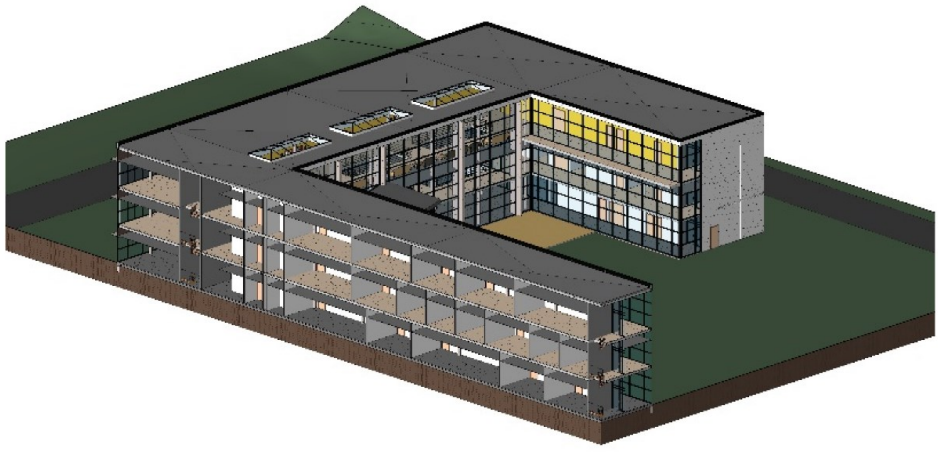
Глобальная строительная индустрия переживает период активной трансформации, характеризующийся масштабной цифровизацией процессов и внедрением инновационных технологий. BIM становится одним из ключевых драйверов этих изменений, обеспечивая существенный потенциал для повышения эффективности, качества и безопасности строительных проектов.

Тенденция к цифровизации строительной отрасли находит отражение в повсеместном внедрении информационного моделирования зданий BIM. Государства по всему миру, осознавая потенциал BIM для повышения эффективности и качества строительных проектов, активно разрабатывают и реализуют политику, направленную на стимулирование его применения.

Анализ данных о применении BIM в различных регионах мира, России, Европы и Северной Америки, свидетельствует о неуклонном росте популярности данной технологии. Строительные компании все чаще используют BIM для реализации коммерческих проектов, что обусловлено очевидными преимуществами технологии в плане оптимизации процессов проектирования, строительства и эксплуатации объектов. Тем не менее, наблюдается тенденция к расширению сферы применения BIM и на другие сектора экономики, не связанные непосредственно со строительством [13].

США, Великобритания, Япония, Южная Корея, Сингапур и многие другие страны предпринимают целенаправленные меры для ускорения процесса внедрения BIM в строительную отрасль. Например, правительство Великобритании с 2016 г. ввело обязательное использование BIM для всех государственных строительных проектов, что стало мощным импульсом для развития BIM-технологий в стране. Южная Корея также последовательно внедряет BIM в строительную практику, начиная с 2016 г. сделав обязательным использование BIM для всех государственных объектов стоимостью свыше 50 млрд вон. Сингапур с 2015 г. требует обязательного применения BIM для всех государственных и частных зданий площадью 5000 м^2 [14].

Несмотря на то, что коммерческие строительные проекты по-прежнему остаются основным сегментом рынка, где BIM часто применяется, но наблюдается устойчивый рост использования технологии в инфраструктурных, промышленных и других типах проектов. Многие строительные компании признают BIM как универсальный инструмент для управления сложными инженерными объектами на протяжении всего их жизненного цикла. BIM трансформирует традиционные подходы к проектированию и строительству, способствуя повышению конкурентоспособности строительных компаний и повышению качества строительной продукции. Дальнейшее развитие BIM будет связано с интеграцией технологии с другими цифровыми решениями, такими как искусственный интеллект, большие данные и виртуальная реальность, чтобы создавать интеллектуальные и эффективные строительные проекты. Визуализация возможностей BIM, представленная на рисунке, наглядно демонстрирует то, как BIM-инструменты создают трехмерные и четырехмерные модели объектов, генерируют разнообразную документацию (чертежи, спецификации, ведомости объемов работ) и проводят симуляции различных строительных процессов. Благодаря возможностям BIM существенно повышается точность и эффективность проектирования строительства, а также выявляются и устраняются ошибки на ранних стадиях строительного проекта.



Здание, смоделированное в BIM Revit v2023 [9]
A building modeled in BIM Revit v2023 [9]

BIM трансформирует традиционные подходы к обеспечению безопасности на строительных объектах, предоставляя мощный инструмент для проективного управления рисками и оптимизации строительных процессов. Эффективно BIM применяется на ранних стадиях проекта, когда осуществляется проектирование и планирование строительных работ.

Использование BIM помогает детально моделировать геометрию зданий, сложные формы и нестандартные конструктивные решения, чтобы проводить всесторонний анализ проектных решений и выявлять потенциальные опасности, связанные с особенностями геометрии здания, еще до начала строительных работ. Например, BIM-моделирование может оценить сложность монтажа конструкций, выявить потенциальные конфликты между различными элементами здания и разработать оптимальные решения для обеспечения безопасности строительных работ.

BIM-модели обеспечивают визуализацию строительных процессов, чтобы эффективно планировать работы, координировать действия различных подрядных организаций и контролировать соблюдение требований безопасности [15]. Трехмерные модели зданий могут использоваться для создания планов эвакуации, разработки схем организации строительной площадки и проведения инструктажей для персонала.

Одним из значимых преимуществ BIM является возможность проведения количественной оценки рисков, связанных с безопасностью и охраной труда. BIM-модели анализируют различные сценарии развития событий, оценивают вероятность возникновения опасных ситуаций и разрабатывают меры по их предотвращению. BIM используют для создания цифровых двойников объектов безопасности, таких как системы пожарной сигнализации и оповещения, чтобы проводить их тестирование и оптимизацию в виртуальной среде.

Таким образом, BIM предоставляет уникальные возможности для повышения уровня безопасности на строительных объектах. Путем создания детальных цифровых моделей зданий и проведения всестороннего анализа проектных решений, BIM выявляет и устраняет потенциальные опасности на ранних стадиях проекта, оптимизировать строительные процессы и обеспечивать безопасные условия труда для строителей. Анализ современного состояния строительной отрасли свидетельствует о наличии существенных ограничений, препятствующих повышению ее эффективности. Одной из острых проблем является низкая производительность труда, которая, согласно статистическим данным, практически не демонстрирует положительной динамики [15]. Корреляция между уровнем промышленной безопасности и производительностью труда в строительстве является предметом многочисленных исследований. Результаты этих исследований указывают на то, что высокий уровень травматизма и несчастных случаев на производстве, характерный для многих отраслей тяжелой промышленности, негативно влияет на эффективность строительных процессов.

Причинами низкой производительности труда в строительстве является недостаточная квалификация рабочих, отсутствие современных технологий, а также организационные проблемы. Именно вопросы безопасности труда играют одну из ключевых ролей в снижении эффективности строительных проектов. Высокий уровень риска на строительных площадках приводит к увеличению затрат на компенсацию ущерба, вызванного несчастными случаями, а также к потере рабочего времени.

Анализ статистических данных о компенсациях, выплачиваемых в связи с производственными травмами, свидетельствует о том, что, несмотря на общую тенденцию к снижению уровня профессионального риска в различных отраслях экономики, строительная индустрия продолжает характеризоваться аномально высоким уровнем производственного травматизма. Несмотря на наличие нормативно-правовой базы, регулирующей вопросы безопасности в строительстве, на практике наблюдается значительный разрыв между требованиями нормативных документов и реальной ситуацией на строительных площадках.

Одним из ключевых факторов, обуславливающих сохранение высокого уровня производственного травматизма в строительстве, является недостаточная эффективность традиционных методов управления безопасностью. Постоянное использование двумерной графики и бумажных носителей для передачи информации о проекте приводит к затруднениям в координации действий различных участников строительного процесса, так как повышается вероятность возникновения ошибок и недоразумений, а также затрудняется проведение комплексного анализа рисков.

Увеличивающаяся сложность современных инженерных проектов, а также возрастающие требования к безопасности труда требуют применения совершенных инструментов управления проектами. BIM представляет собой перспективную технологию, способную существенно повысить уровень безопасности на строительных площадках. Использование трехмерных цифровых моделей, детально

анализирующих потенциальные опасности, выявляет конфликты между различными элементами проекта и разрабатывает эффективные меры по предотвращению несчастных случаев.

Следовательно, поиск новых подходов к повышению безопасности труда и производительности в строительстве является актуальной задачей. BIM рассматривается как одна из перспективных технологий, способных внести существенный вклад в решение проблемы. BIM создает детальные цифровые модели строительных объектов, которые применяются для проведения анализа рисков, планирования работ и координации действий различных участников строительного процесса. Ведь низкая производительность труда в строительной отрасли является комплексной проблемой, требующей системного решения. Также низкий уровень безопасности труда в строительной отрасли является следствием ряда объективных и субъективных факторов, влияющих на недостаточную эффективность традиционных методов управления проектами.

Внедрение BIM-технологий в сочетании с другими инновационными подходами является важной технологией на пути к повышению безопасности труда и эффективности строительных процессов. Они открывают новые возможности для повышения безопасности труда и эффективности строительных процессов. Анализ современного состояния внедрения BIM выявляет ряд существенных препятствий, сдерживающих распространение технологии. Несмотря на растущий интерес к BIM со стороны участников строительной отрасли, реализация его потенциала сталкивается с комплексом взаимосвязанных проблем (таблица).

Проблемы и пути решения при внедрении BIM
Problems and solutions in the implementation of BIM

Проблема	Описание проблемы	Пути решения
Несовершенство политики, правил и стандартов	Отсутствие единых и четких стандартов BIM, разрозненность нормативной базы, отсутствие четких требований к уровню детализации моделей и форматам обмена данными	Разработка национальных и отраслевых стандартов BIM, создание единой информационной модели, проведение регулярных обновлений нормативной базы с учетом развития технологий
Недостаточный технический персонал BIM	Дефицит специалистов, не имеющих необходимых знаний и навыков в области BIM, а также отсутствие программ обучения и повышения квалификации	Внедрение образовательных программ по BIM в вузах и колледжах, организация курсов повышения квалификации для действующих специалистов, создание центров компетенций по BIM
Разный уровень зрелости применения BIM в компаниях	Неравномерное внедрение BIM в различных организациях строительной отрасли, отсутствие системного подхода к внедрению технологии	Разработка дорожных карт по внедрению BIM для организаций с разным уровнем зрелости, создание центров поддержки пользователей BIM, проведение обучающих семинаров и конференций
Ограниченное применение BIM с добавленной стоимостью	Сосредоточение на создании 3D-моделей без использования дополнительных функциональных возможностей BIM, таких как анализ данных, симуляция процессов и оптимизация проектов	Разработка методик оценки эффективности применения BIM, поощрение использования BIM для решения нестандартных задач, создание примеров успешного применения BIM
Отсутствие изменений в операционных процессах	Сохранение традиционных методов работы, не адаптированных к использованию BIM, отсутствие интеграции BIM-моделей с другими системами управления проектами	Реинжиниринг бизнес-процессов с учетом применения BIM, разработка интегрированных информационных систем, внедрение принципов бережливого производства
Нехватка технического персонала BIM на строительных площадках	Высокая стоимость содержания специалистов по BIM, необходимость постоянного обучения и повышения квалификации	Разработка гибких моделей привлечения специалистов по BIM (аутсорсинг, фриланс), создание виртуальных команд специалистов, использование облачных технологий

Нормативно-правовая база и стандартизация являются одними из ключевых факторов, влияющих на успешность внедрения BIM.

Отсутствие единых и четко сформулированных требований к уровню детализации моделей, форматам обмена данными, а также недостаточная интеграция BIM в существующую нормативную базу создают значительные барьеры для распространения технологии.

Несовершенство нормативной среды приводит к неопределенности в отношении ответственности участников проекта, затрудняет оценку качества BIM-моделей и снижает эффективность их использования.

Дефицит квалифицированных кадров также является серьезным препятствием на пути развития BIM. Недостаток специалистов, которые не имеют знания в области информационного моделирования, затрудняет выполнение проектов с использованием BIM, особенно на крупных и сложных объектах.

Кроме того, отсутствие программ непрерывного обучения и повышения квалификации не дает возможность специалистам адаптироваться к быстро меняющимся технологиям и требованиям рынка. Разный уровень зрелости применения BIM в различных организациях является еще одним важным фактором, сдерживающим развитие отрасли. Многие компании только начинают осваивать BIM-технологии, в то время как другие уже имеют значительный опыт. Отсутствие единого подхода к внедрению BIM приводит к фрагментации рынка и затрудняет обмен опытом между организациями. Ограниченное использование функциональных возможностей BIM также является характерной проблемой. Многие компании ограничиваются созданием трехмерных моделей, не используя весь потенциал BIM для анализа данных, оптимизации процессов и принятия решений из-за недостаточной осведомленности о возможностях BIM, а также отсутствия соответствующих методик и инструментов.

Недостаточная интеграция BIM в бизнес-процессы является одной из серьезных проблем. Внедрение BIM требует не только изменения технологических процессов, но и переосмысления организационной структуры и системы управления проектами. Отсутствие системного подхода к внедрению BIM приводит к тому, что BIM-модели используются изолированно и не оказывают существенного влияния на принятие решений. Для преодоления указанных проблем необходимо комплексное решение:

– разработка и совершенствование нормативно-правовой базы в области BIM, создание единых стандартов и требований;

– организация системного обучения и повышения квалификации специалистов в области BIM;

– создание центров компетенций по BIM для обмена опытом и разработки лучших практик;

– разработка методик оценки эффективности применения BIM и стимулирование использования BIM для решения нестандартных задач;

– реинжиниринг бизнес-процессов с учетом применения BIM;

– создание интегрированных информационных систем для управления проектами с использованием BIM.

Решение проблем, связанных с внедрением BIM, требует комплексного подхода, основанного не только на технологических аспектах, но и организационных, экономических и социальных. Внедрение BIM должно осуществляться постепенно, начиная с небольших пилотных проектов и постепенно расширяя сферу его применения. Важно создать активное сообщество специалистов по BIM для обмена опытом, разработки лучших практик и совместного решения проблем. Успешное внедрение BIM невозможно без поддержки руководства организации. BIM предоставляет уникальные возможности для оптимизации процессов управления строительными проектами на всех стадиях их жизненного цикла, от концептуального проектирования до эксплуатации. Использование BIM-инструментов существенно снизит риски, связанные с ошибками проектирования и строительства, а также минимизирует трудозатраты на устранение дефектов.

Внедрение BIM в строительную отрасль открывает новые перспективы для повышения безопасности и эффективности строительных процессов. Систематическое планирование и развитие компетенций персонала, особенно в области управления проектами, поможет максимально эффективно использовать потенциал BIM. Приоритетным направлением развития является разработка специализированных учебных программ для инженеров BIM, ориентированных на освоение ключевых навыков и компетенций, необходимых для эффективного применения BIM в области управления безопасностью и охраной труда.

Такие программы должны охватывать набор инструментов, а именно:

1. Владение современными программными комплексами BIM, понимание принципов работы программ, таких как Revit, Tekla и др. Умение применять их для создания детальных трехмерных моделей строительных объектов

(архитектурные, конструктивные и инженерные системы).

2. Пространственное мышление и визуализация, способность воспринимать и анализировать информацию, представленную в трехмерном пространстве, а также создавать и интерпретировать визуальные модели строительных объектов.

3. Интеграция BIM-моделей с другими системами (умение интегрировать BIM-модели с другими информационными системами, используемыми в строительстве, для обеспечения эффективного обмена данными и координации работ).

4. Планирование и управление строительными процессами (умение использовать BIM для планирования строительных работ, оптимизации логистики, управления ресурсами и контроля качества).

5. Оценка рисков и безопасности (способность проводить оценку рисков, связанных с безопасностью строительных работ, и разрабатывать меры по их минимизации).

6. Экономическое обоснование проектов (умение использовать BIM для оценки стоимости строительных работ и оптимизации затрат).

Реализация описанных компетенций инженеров с применением технологии BIM эффективно решает следующие задачи:

– проектирование безопасных строительных объектов, создание трехмерных моделей, которые учитывают все аспекты безопасности (эвакуацию, пожаротушение, защиту от падения с высоты и другие опасности);

– оптимизация строительных процессов, разработка детальных планов производства работ, координация действий различных подрядных организаций, контроль соблюдения сроков и бюджета;

– управление рисками, выявление и оценка потенциальных рисков, разработка мер по их предотвращению и минимизации;

– повышение качества коммуникации: улучшение взаимодействия между всеми участниками строительного процесса благодаря использованию единой информационной модели. Внедрение BIM в строительную отрасль повысит уровень безопасности, но и сократит сроки строительства, а также снизит затраты. Для достижения указанных целей необходимо обеспечить высокий уровень профессиональной подготовки специалистов в области BIM. Таким образом, инвестиции в развитие человеческого капитала в области BIM являются стратегически важным направлением для повышения конкурентоспособности строительной отрасли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

1. Указано, что строительная отрасль активно развивается и внедрение BIM-технологии улучшит производительность труда персонала, усилит технические функции в области безопасности и гигиены труда, уменьшит количество несчастных случаев на производстве и обеспечит безопасность работников. Укрепление профессиональных возможностей персонала является основным направлением развития строительной инженерии.

2. Установлено, что благодаря своей способности интегрировать разнородную информацию о проекте, BIM способствует повышению качества планирования и координации работ, что в свою очередь ведет к сокращению количества переделок и простоев. Кроме того, применение BIM-технологий открывает новые перспективы для обеспечения безопасности труда на строительных площадках с помощью детальных цифровых моделей, создаваемые в рамках BIM-проектирования, для проведения углубленного анализа потенциальных рисков и разработки эффективных мер по их предотвращению.

3. Определено, что внедрение BIM требует не только освоения новых программных продуктов, но и пересмотра существующих бизнес-процессов и развития кадрового потенциала. Систематическое обучение сотрудников навыкам работы с BIM-системами является одним из ключевых факторов успешной реализации проектов с использованием данной технологии. Развитие функциональной структуры организации, связанной с управлением BIM-проектами, обеспечит непрерывное совершенствование процессов и адаптацию к меняющимся требованиям строительного рынка.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ильенкова В.А., Гулиева Р.М., Антипова В.К., Ахмадеев С.А., Недосеева П.А. Сравнительный анализ систем автоматизированного проектирования работ (CAD) и систем информационного моделирования зданий (BIM) // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2022. № 11. С. 34–37. EDN: XBBNPW.

2. Жданюк А.Ю., Желтухина Д.В., Пергатая С.Н., Бебес А.О., Рослякова М.А. Определение экономической целесообразности возможности использования систем информационного моделирования зданий

(BIM) для зданий, введенных в эксплуатацию // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2022. № 11. С. 230–233. EDN: CGDKEF.
3. Косаруков М.М., Вашлаев А.Д., Калинина А.П. Эффекты от внедрения технологии информационного моделирования здания (BIM-технологии) // Экономика и предпринимательство. 2024. № 8. С. 929–932. https://doi.org/10.34925/EIP.2024.169.8.174. EDN: PNNMUD.
4. Loyola M., López F. An Evaluation of the Macro-Scale Adoption of Building Information Modeling in Chile: 2013–2016 // Journal of Construction. 2018. Vol. 17. Iss. 1. P. 158–171. https://doi.org/10.7764/RDLC.17.1.158.
5. Alpatov V.Yu., Atamanchuk A.V., Balzannikov M.I. Economic Effectiveness of Traditional Building Materials in Modern Conditions // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698. Iss. 2. P. 1–7. http://doi.org/10.1088/1757-899X/698/2/022055.
6. Ahmad Z., Thaheem M.J., Maqsoom A. Building Information Modeling as A Risk Transformer: An Evolutionary Insight into The Project Uncertainty // Automation in Construction. 2018. Vol. 92. P. 103–119. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.03.032.
7. Agirbas A. Teaching Construction Sciences with The Integration of BIM to Undergraduate Architecture Students // Frontiers of Architectural Research. 2020. Vol. 9. Iss. 4. P. 940–950. https://doi.org/10.1016/j.foar.2020.03.007.
8. Rokooei S. Building Information Modeling in Project Management: Necessities, Challenges and Outcomes // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2015. Vol. 210. P. 87–95. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.332.
9. Lobos Calquin D., Mata R., Correa C., Nuñez E., Bustamante G., Caicedo N. et al. Implementation of Building Information Modeling Technologies in Wood Construction: A Review of the State of the Art from a Multidisciplinary Approach // Buildings. 2024. Vol. 14. Iss. 3. P. 1–32. https://doi.org/10.3390/buildings14030584.
10. Mssoud Al-sarafi A.H., Alias A.H., Mohd. Shafri H.Z., Mohd. Jakarni F. Factors Affecting BIM Adoption in The Yemeni Construction Industry: A Structural Equation Modelling Approach // Buildings. 2022. Vol. 12. Iss. 12. P. 1–27. https://doi.org/10.3390/buildings12122066.
11. Dowsett R.M., Harty Ch.F. Assessing The Implementation of BIM – An Information Systems Approach // Construction Management and Economics. 2019. Vol. 37. Iss. 10. P. 551–566. https://doi.org/10.1080/01446193.2018.1476728.
12. Takim R., Harris M., Hadi Nawawi A. Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Quality of Life Within Architectural, Engineering and Construction (AEC) Industry // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2013. Vol. 101. P. 23–32. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.07.175.
13. Mohammed A., Hasnain S.A., Quadir A. Implementation of Building Information Modelling (BIM) Practices and Challenges in Construction Industry in Qatar // Journal of Engineering Research and Reports. 2019. Vol. 9. Iss. 1. P. 1–9. https://doi.org/10.9734/jerr/2019/v9i117008.
14. Tuan Anh Nguyen, Tu Anh Nguyen Building Information Modeling (BIM) for Construction Project Schedule Management: A Review // Engineering, Technology & Applied Science Research. 2024. Vol. 14. Iss. 2. P. 1–10. http://doi.org/10.48084/etasr.6834.
15. Mohammed A.B. Integration Between BIM and Virtual Reality for Enhancing the Building and Occupants During the Operational Phase // Housing Construction. 2020. Iss. 1-2. P. 56–64. https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-1-2-56-64. EDN: BIXPLZ.

REFERENCES

1. Ilyenkova V.A., Gulieva R.M., Antipova V.K., Akhmadeev S.A., Nedoseeva P.A. Comparison of CAD and BIM. *Competitiveness in A Global World: Economics, Science, Technology.* 2022;11:34-37. (In Russ.). EDN: XBBNPW.
2. Zhdanyuk A.Yu., Zheltukhina D.V., Pergataya S.N., Bebes A.O., Roslyakova M.A. Determination of The Economic Feasibility of the Possibility of Using Building Information Modeling (BIM) Systems for Buildings Commissioned. *Competitiveness in A Global World: Economics, Science, Technology.* 2022;11:230-233. (In Russ.). EDN: CGDKEF.
3. Kosarukov M.M., Vashlaev A.D., Kalinina A.P. Effects from The Implementation of Building Information Modeling Technology (BIM Technology). *Ekonomika i predprinimatelstvo.* 2024;8:929-932. (In Russ.). https://doi.org/10.34925/EIP.2024.169.8.174. EDN: PNNMUD.
4. Loyola M., López F. An Evaluation of the Macro-Scale Adoption of Building Information Modeling in Chile: 2013–2016. *Journal of Construction.* 2018;17(1):158-171. https://doi.org/10.7764/RDLC.17.1.158.
5. Alpatov V.Yu., Atamanchuk A.V., Balzannikov M.I. Economic Effectiveness of Traditional Building Materials in Modern Conditions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2019;698(2):1-7. http://doi.org/10.1088/1757-899X/698/2/022055.

6. Ahmad Z., Thaheem M.J., Maqsoom A. Building Information Modeling as A Risk Transformer: An Evolutionary Insight into The Project Uncertainty. *Automation in Construction.* 2018;92:103-119. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.03.032.
7. Agirbas A. Teaching Construction Sciences with The Integration of BIM to Undergraduate Architecture Students. *Frontiers of Architectural Research.* 2020;9(4):940-950. https://doi.org/10.1016/j.foar.2020.03.007.
8. Rokooei S. Building Information Modeling in Project Management: Necessities, Challenges and Outcomes. *Procedia – Social and Behavioral Sciences.* 2015;210:87-95. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.332.
9. Lobos Calquin D., Mata R., Correa C., Nuñez E., Bustamante G., Caicedo N. et al. Implementation of Building Information Modeling Technologies in Wood Construction: A Review of the State of the Art from a Multidisciplinary Approach. *Buildings.* 2024;14(3):1-32. https://doi.org/10.3390/buildings14030584.
10. Mssoud Al-sarafi A.H., Alias A.H., Mohd. Shafri H.Z., Mohd. Jakarni F. Factors Affecting BIM Adoption in The Yemeni Construction Industry: A Structural Equation Modelling Approach. *Buildings.* 2022;12(12):1-27. https://doi.org/10.3390/buildings12122066.
11. Dowsett R.M., Harty Ch.F. Assessing The Implementation of BIM – An Information Systems Approach. *Construction Management and Economics.* 2019;37(10):551-566. https://doi.org/10.1080/01446193.2018.1476728.
12. Takim R., Harris M., Hadi Nawawi A. Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Quality of Life Within Architectural, Engineering and Construction (AEC) Industry. *Procedia – Social and Behavioral Sciences.* 2013;101:23-32. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.07.175.
13. Mohammed A., Hasnain S.A., Quadir A. Implementation of Building Information Modelling (BIM) Practices and Challenges in Construction Industry in Qatar. *Journal of Engineering Research and Reports.* 2019;9(1):1-9. https://doi.org/10.9734/jerr/2019/v9i117008.
14. Tuan Anh Nguyen, Tu Anh Nguyen Building Information Modeling (BIM) for Construction Project Schedule Management: A Review. *Engineering, Technology & Applied Science Research.* 2024;14(2):1-10. http://doi.org/10.48084/etasr.6834.
15. Mohammed A.B. Integration Between BIM and Virtual Reality for Enhancing the Building and Occupants During the Operational Phase. *Housing Construction.* 2020;1-2:56-64. https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-1-2-56-64. EDN: BIXPLZ.

Информация об авторах

Пучков Максим Викторович,
доктор архитектуры, доцент,
профессор кафедры архитектуры,
Институт строительства и архитектуры,
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
620062, г. Екатеринбург, ул. Мира,19, Россия,
e-mail: maxpouthkov@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-1768-1557
Author ID: 77114

Загрутдинов Ильдар Фаритович,
аспирант,
Институт строительства и архитектуры,
Уральский федеральный университет имени
первого Президента России Б.Н. Ельцина,
620062, г. Екатеринбург, ул. Мира,19, Россия,
✉e-mail: zif1977@mail.ru
https://orcid.org/0009-0009-1748-7242

Information about the authors

Maxim V. Puchkov,
Doctor of Architecture, Associate Professor,
Professor of the Department of Architecture,
Institute of Construction and Architecture,
Ural Federal University named after the first
President of Russia B.N. Yeltsin,
19 Mira St., Yekaterinburg 620062, Russia,
e-mail: maxpouthkov@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-1768-1557
Author ID: 77114

Ildar F. Zagrutdinov,
Postgraduate Student,
Institute of Construction and Architecture,
Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,
19 Mira St., Yekaterinburg 620062, Russia,
✉e-mail: zif1977@mail.ru
https://orcid.org/0009-0009-1748-7242

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 26.03.2025.
Одобрена после рецензирования 03.04.2025.
Принята к публикации 07.04.2025.

Information about the article

The article was submitted 26.03.2025.
Approved after reviewing 03.04.2025.
Accepted for publication 07.04.2025.

Научная статья
УДК 624.15
EDN: NQQSNV
DOI: 10.21285/2227-2917-2025-2-277-291

Разработка программы для расчета осадок фундамента здания методом послойного суммирования на естественном основании

Т.Г. Середа[1], С.Н. Костарев[2,3]✉
[1]Пермский государственный аграрно-технологический университет
им. академика Д.Н. Прянишникова, Пермь, Россия
[2]Пермский институт ФСИН России, Пермь, Россия
[3]Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

Аннотация. Вопросу разработке автоматизированного расчета осадков фундамента уделяется недостаточно внимания. Целью работы является разработка инструмента для автоматизированного расчета и выполнения эскиза эпюр нагрузок фундамента здания. Фундамент здания является основным опорным элементом строения, от правильности расчета осадков фундамента зависит устойчивость здания. Возникла необходимость в разработке автоматизированных расчетов осадка фундамента и эпюр напряжений, что позволит снизить риски, связанные с человеческим фактором. Программа разработана в соответствии со сводом правил СП 22.13330.2016. Она написана для конструкторского пакета AutoCAD, но также будет работать и на NanoCAD. Алгоритм составлен с помощью программы Pencil. В настоящее время были достигнуты некоторые результаты с использованием оболочек SCAD OFFICE, BIM-технологий, но специализированных программ недостаточно. Реализована разработка программы для расчета осадок фундамента методом послойного суммирования для естественного основания здания. Приведены алгоритмы, основные функции и аргументы, использованные в программе. Проведена симуляция работы программы с параметрами грунта, характерного для Пермского края. Результаты расчета программы позволят оценить суммарные осадки фундамента, определить нижнюю границу сжимаемости толщи и наглядно ознакомиться с эскизом эпюр напряжений в грунте.

Ключевые слова: безопасность эксплуатации зданий, фундамент, строительные конструкции, AutoLISP

***Для цитирования*:** Середа Т.Г., Костарев С.Н. Разработка программы для расчета осадок фундамента здания методом послойного суммирования на естественном основании // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 2. С. 277–291. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-277-291. EDN: NQQSNV.

Original article

Development of a program for calculating the precipitation of the foundation of a building by the method of layer-by-layer summation on a natural basis

Tatyana G. Sereda[1], Sergey N. Kostarev[2,3]✉
[1]Perm State Agro-Technological University
named after Academician D.N. Pryanishnikov., Perm, Russia
[2]Perm Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia, Perm, Russia
[3]Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

Abstract. Insufficient attention is paid to the development of an automated calculation of foundation precipitation. The purpose of the work is to develop a tool for automated calculation and sketch of building foundation loads. The foundation of the building is the main supporting element of the structure, the stability of the building depends on the correctness of the calculation of the precipitation of the foundation. There was a need to develop automated calculations of foundation sediment and stress plots, which

© Середа Т.Г., Костарев С.Н., 2025

would reduce the risks associated with the human factor. The program was developed in accordance with the code of rules of SP 22.13330.2016. It is written for the AutoCAD design package, but it will also work on nanoCAD. The algorithm is compiled using the Pencil program. Currently, some results have been achieved using SCAD OFFICE shells and BIM technologies, but specialized programs are not enough. The development of a program for calculating the foundation sediment by the method of layer-by-layer summation for the natural foundation of the building has been implemented. The algorithms, main functions and arguments used in the program are given. A simulation of the program's operation with soil parameters typical of the Perm Region was carried out. The results of the calculation of the program will allow us to estimate the total precipitation of the foundation, determine the lower limit of compressibility of the stratum and visually familiarize ourselves with the sketch of stress plots in the ground.

Keywords: building operation safety, foundation, building structures, AutoLISP

For citation: Sereda T.G., Kostarev S.N. Development of a program for calculating the precipitation of the foundation of a building by the method of layer-by-layer summation on a natural basis. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(2):277-291. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-277-291. EDN: NQQSNV.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время идет переход к использованию систем автоматизированного проектирования как к комплексному программному обеспечению, позволяющему полностью автоматизировать необходимые расчеты и выполнить конструкторскую чертежную документацию. Использование компьютерных расчетов может поспособствовать ускорению идущей реновации и строительству новых объектов. Одним из основных элементов строительства является фундамент здания, от устойчивости которого зависит его устойчивость и целостность. В рамках импортозамещения разработка программного обеспечения является актуальной задачей.

МЕТОДЫ

В основе расчета осадков фундамента лежит метод учета деформаций. В качестве методики расчета выбран метод послойного суммирования, рекомендованный СП 22.13330.2016 СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений (Приказ Минстроя России от 16 декабря 2016 г. № 970/пр). В качестве программы используется диалектика языка LISP (AutoLISP) как встроенного модуля AutoCAD (NanoCAD). Программа разработана для расчетов осадки фундаментов, возводимых в неглубоких котлованах (глубиной до 5 м).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Описание методики расчета осадок фундамента методом послойного суммирования

Расчетные методы осадков фундамента можно классифицировать на фундаментальные, к которым относятся аналитические и численные методы, и эмпирические, с учетом уточняющих коэффициентов, полученных экспериментальным путем. В работах [1, 2] представлены сравнительный анализ осадки фундамента, выполненный численными и аналитическими методами. Использование метода случайных конечных элементов приведено в статье [3]. В настоящее время для расчета фундамента рекомендуется использовать свод правил 22.13330.2016, который является преемником СНиП 2.02.01-83*. Ряд работ посвящен сравнительному анализу осадки основания свайного фундамента по СНИП и СП [4–6]. Также проводится уточнение методов расчета осадок фундаментов с учетом натурных экспериментов [7]. Разрабатываются оптимальные методики расчета [8]. Автоматизация процесса проектирования и расчета фундаментов становится в данное время актуальной задачей [9–13]. Гипотеза расчета на основе деформаций грунтов предполагает, что фактическая осадка фундамента не превышает предельную. Расчет фундамента представляет собой комплексную задачу, учитывающую погружение и размеры фундамента, почвенные изыскания, вес здания и др. [14–15]. Одним из методов расчета является методика послойного суммирования слоев грунта, на основе которого разработана программа.

Расчет осадки основания фундамента (*S*) можно определить по упрощенной формуле для неглубоких котлованов (СП 22.13330.2016)

$$S = 0{,}8\left(\sum_{i=1}^{n} \frac{\left(\sigma_{zp,i} - \sigma_{z\gamma,i}\right)h_i}{E_i} \right), \quad (1)$$

где $\sigma_{zp,\,i}$ – вертикальное напряжение от внешней нагрузки в *i*–ом слое грунта; $\sigma_{z\gamma,\,i}$ – вертикальное напряжение в *i*–ом слое от собственного веса грунта; *h* – толщина *i*–го слоя; E_i – модуль деформации грунта; *n* – число слоев, на которые разбита сжимаемая толща основания.

Вертикальное напряжение от внешней нагрузки σ_{zp} на глубине *z* от подошвы фундамента определяется по уравнению

$$\sigma_{zp} = \alpha\, p, \tag{2}$$

где *α* – нормирующий коэффициент (α определяется по СП, для промежуточных значений производится его интерполяция).

Вертикальное напряжение от собственного веса грунта на глубине *z* от подошвы фундамента рассчитывается по уравнению

$$\sigma_{z\gamma} = \alpha\, \sigma_{zg,\,0}, \tag{3}$$

где $\sigma_{zg,\,0}$ – вертикальное напряжение от собственного веса грунта на отметке подошвы фундамента.

Структура программного обеспечения

Укрупненная блок-схема программы показана на рис. 1. При запуске основной функции EPIR, проектировщик вводит основные исходные данные, базовую точку (БТ) построения (для упрощения координаты БТ приняты за начало координат). Далее отчерчивается фундамент, а программа постепенно запрашивает физические характеристики инженерно-геологических элементов с построением эпюр напряжений по слоям.

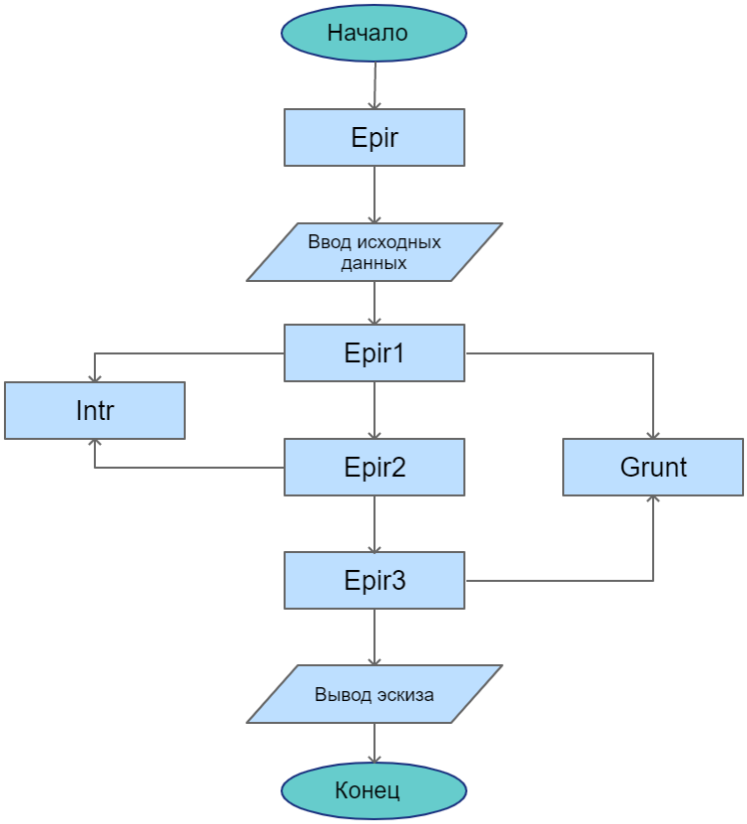


Рис. 1. Алгоритм программы
Fig. 1. Program algorithm

В табл. 1 приведены функции программы. Программа содержит шесть функций. Главная функция – Epir, она же является командой запуска, функции Epir 1 и Epir 2 – построение эпюр напряжений выше или ниже грунтовых вод, функция Epir 3 – построение эпюр пересечений, функция Grunt – построение столба грунтов и Intr – функция интерполяции, необходимая для вычисления промежуточных значений нормирующего коэффициента *α* (2, 3).

Таблица 1. Обозначение функций
Table 1. Designation of functions

Функция	Назначение
Epir	Главная функция (команда запуска)
Epir 1	Построение эпюр напряжений
Epir 2	Построение эпюр напряжений ниже грунтовых вод
Epir 3	Построение эпюр пересечений
Grunt	Построение столба грунтов
Intr	Функция интерполяции

В табл. 2 приведены некоторые переменные, а также идентификаторы.

Таблица 2. Идентификаторы переменных
Table 2. Variable identifiers

В программе	Обозначение
b	Ширина фундамента, м
S1	Глубина заложения фундамента, м
k	Глубина грунтовых вод, м
P	Дополнительное напряжение в грунте, на уровне подошвы фундамента, кПа
Y1	Плотность грунта, г/см^3
Ee	Модуль деформации грунта, мПа
Ss	Суммарные осадки фундамента
Z1	Нижняя граница сжимаемой толщи
I3	Количество слоев (EPIR2)
I4	Толщина слоя (EPIR2)
D1	Расстояние от фундамента до грунтовых вод (EPIR2)
I0	Отсчет количества слоев (EPIR2)
gz	Расчет эпюры напряжений в грунте
m	Масштаб эпюр
C1	Глубина нижней границы слоя
NL	Граница природного рельефа

Реперные точки приведены в табл. 3.

Таблица 3. Опорные точки
Table 3. Reference points

Мнемоника	Назначение
AA	Базовая точка
AA3	Смещение фундамента
Gia	Начало эпюры напряжений
Ag	Начало столба грунтов
AT	Начало таблицы
AP	Начало поверхности
AF1-AF4	Узловые точки фундамента

Симуляция программы приведена на рис. 2. В среде AutoCAD загружается редактор VisualLISP (vlide) и открывается файл *.LSP.

Исполнение программы начинается с вызова главной функции (epir).

В качестве экспериментальных данных были введены следующие параметры:

– ширина фундамента (1,6 м);

– глубина заложения фундамента (1,9 м);

– глубина грунтовых вод (4,4 м);

– напряжение в грунте на уровне подошвы фундамента в кПа на погонный метр фундамента (169,4 кПа).

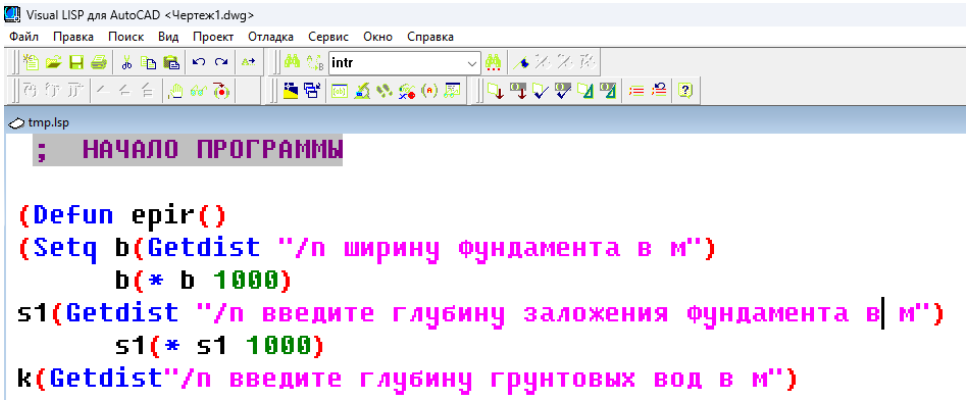


Рис. 2. Редактор Visual LISP
Fig. 2. Visual LISP Editor

Введены некоторые физико-механические характеристики инженерно-геологических элементов (ИГЭ), необходимые для расчета:

1. ИГЭ №1: введите глубину нижней границы слоя в м (2,2 м), плотность грунта г/см^3 (18,7 г/см^3), модуль деформации грунта в МПа (15 МПа).
2. ИГЭ №2: введите глубину нижней границы слоя в м (4,6 м), плотность грунта г/см^3 (18,7 г/см^3), модуль деформации грунта в МПа (9,5 МПа).
3. ИГЭ №3: введите глубину нижней границы слоя в м (7,2 м), плотность грунта г/см^3 (21 г/см^3), модуль деформации грунта в МПа (24 МПа).
4. ИГЭ №4: введите глубину нижней границы слоя в м (9,6 м), плотность грунта г/ см^3 (19,98 г/см^3), модуль деформации грунта в МПа (23 МПа).

Полученный эскиз расчетной схемы фундамента показан на рис. 3.

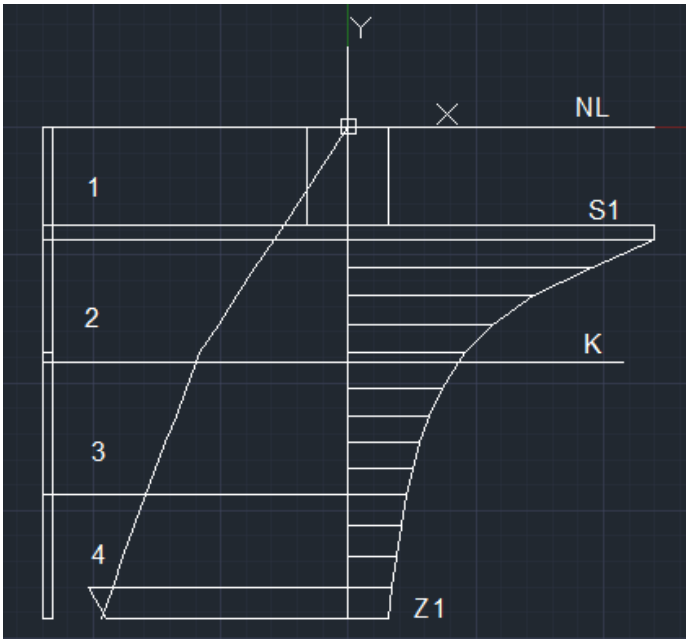


Рис. 3. Эскиз расчетной схемы фундамента: NL – граница природного рельефа, S1 – глубина заложения фундамента, K – глубина грунтовых вод, Z1 – нижняя граница сжимаемой толщи, 1–4 – инженерно-геологические элементы
Fig. 3. A sketch of the calculated scheme of the foundation: NL is the boundary of the natural relief, S1 – depth of the foundation, K – depth of groundwater, Z1 – lower boundary of the compressible stratum, 1–4 – engineering and geological elements

Для вывода значения интересующих показателей (переменных) в программе AutoCAD нужно использовать команду «!». Результаты расчета суммарных осадков фундамента и определения нижней границы сжимаемой толщи (для данного примера расчета) приведены в табл. 4.

Таблица 4. Вывод результатов расчета
Table 4. Output of calculation results

Расчетные показатели	Команда	Результат расчета	Размерность
Суммарные осадки фундамента	!ss	Команда: !ss 29.9065 Команда: !z1 7700.0	мм
Нижняя граница сжимаемой толщи	!z1		мм

Функции листинга программы приведены ниже.

Функция epir

```
(Defun c:epir ()
 (Setq       b   1.6            ;(Getdist "/n Ширина фундамента ")
    b   (* b 1000)
    s1  1.9                    ;(Getdist "/n Глубина заложения фундамента ")
    s1  (* s1 1000)
    k   4.4                    ;(Getdist "/n Глубина грунтовых вод ")
    k   (* k 1000)
    p   169.4                  ;(Getdist "/n Дополнительное напряжение в грунте, kПа ")
    AA  (LIST 0 0)
    C   0
    gz  0
    gi  p
    m1  0.1
    ss  0
    m   (/ 6000 p)                    ;   Масштаб эпюр
    Z   0                             ;
    AA3 (POLAR AA (- (/ PI 2)) (* S1 m1))

    GiA (Polar AA3 0 (* (* p m) m1)) ;   Начало эпюры напряжений
    AG  (POLAR AA PI (* 6000 m1)) ;  Начало столба грунтов
    AT  (POLAR AA 0 (* 9000 m1))  ;   Начало таблицы
    AP  (POLAR AA 0 (* 6000 m1))
 )
 (command "_Line" AG aP "")           ; поверхность
 (command "_Line" aa3 GIA "")
 (Setq       CC  (POLAR AA 0 0)
    u   0
    qq  2
    qq1 qq
    q   1
    AF1 (polar AA pi (* (/ b 2) m1)) ;     Фундамент
    AF4 (polar AA 0 (* (/ b 2) m1))
    AF2 (polar Af1 (- (/ pi 2)) (* s1 m1))
    AF3 (polar Af4 (- (/ pi 2)) (* s1 m1))
 )
 (command "_Line" AA AF1 AF2 AF3 AF4 "з")
 (while (> qq q)
  (Setq c1 (Getdist "/n Глубина нижней границы слоя ")
     c1 (* c1 1000)
     y1 (Getdist "/n Плотность грунта ")
     EE (Getdist "/n Модуль деформации грунта ")
     ee (* ee 1000)
     y  (/ y1 1000)
  )
  (cond
    ((and (< c s1) (<= c1 s1))
```

```
      (epir1 AA gz CC m y k s1 m1 c c1 AG Q QQ)
      (setq CC        CC1
         AA  AA1
         gz  gz1
         c   c1
         AG  AG1
      )
      )
      ((and (< c s1) (> c1 s1))
       (setq nn 8)
       (progn (Setq c2 s1)
          (setq nn 9)
          (epir1 AA gz CC m y k s1 m1 c c2 AG Q QQ)
          (setq nn 10)

          (setq CC CC1
                AA AA1
                gz gz1
                AG AG1
          )
          (setq nn 15)
          (epir2 p AA GIA gz CC z m y b k m1 c2 c1 gi q ss ee AG)
          (setq nn 20)

          (Setq CC   CC1
                AA   AA1
                GIA  GIA1
                z    z1
                gz   gz1
                gi   gi1
                ss   ss1
                c    c1
                AG   AG1
      )
      )
      )
      ((> c s1)
       (epir2 p AA GIA gz CC z m y b k m1 c c1 gi q ss ee AG)
       (Setq CC        CC1
          AA   AA1
          GIA GIA1
          z    z1
          gz   gz1
          gi   gi1
          ss   ss1
          c    c1
          AG   AG1
       )
      )
      (T "")
    )
   )
   (setq abc 1)
)

(Defun epir1 (AA gz CC m y k s1 m1 c c1 AG Q QQ)
  (cond      ((< k c) (setq k1 c))
     ((< k c1) (setq k1 k))
```

```
      ((< c1 k) (setq k1 c1))
      (T "")
    )
    (setq       d1 (- k1 c)
       d2 (- c1 k1)
       AA2 AA
       gz2 gz
       CC2 CC
       AG1 AG
       AG4 AG
       AA1 (polar AA2 (- (/ pi 2)) (* d1 m1))
       gz1 (+ gz2 (* d1 y))
       CC1 (polar AA1 pi (* (* gz1 m) m1))
    )
    (command "_Line" cc2 cc1 "")
    (command "_Line" AA2 AA1 "")
    (grunt d1 AG1 aa1 q qq)
    (setq AG1 AG4)
    (setq
     AA2       AA1
     gz2       gz1
     CC2       CC1
     AA1       (polar AA2 (- (/ pi 2)) (* d2 m1))
     gz1       (+ gz2 (- (* y d2) (* 0.01 d2)))
     cc1       (polar AA1 pi (* (* gz1 m) m1))
    )
    (command "_Line" CC2 CC1 "")
    (command "_Line" AA2 AA1 "")
    (grunt d2 AG1 aa1 q qq)
    (setq AG1 AG4)
  )

  (Defun epir2 (p aa GIA gz cc z m y b k m1 c c1 gi q ss ee AG)
    (cond       ((< k c) (setq k1 c))
       ((< k c1) (setq k1 k))
       ((< c1 k) (setq k1 c1))
       (T "")
    )
    (Setq       d1 (- k1 c)              ; расстояние от фундамента до грунтовых вод
       d2 (- c1 k1)
    )                                    ; наоборот
    (if (= d1 0)
     (setq i3 0
        i4 0
     )
     (setq i0 (* b 0.4)                  ; начало расчетов, количество слоев
        i1 (rem d1 i0)
        i2 (+ d1 (- i0 i1))
        i3 (/ i2 i0)                     ; количество слоев d1
        i4 (/ d1 i3)                     ; толщина слоя d1
     )
    )

    (if (= d2 0)
     (setq ii3 0
        ii4 0
     )
```

```
  (setq ii1 (rem d2 i0)
     ii2 (+ d2 (- i0 ii1))
     ii3 (/ ii2 i0)              ; количество слоев d2
     ii4 (/ d2 ii3)              ; толщина слоя d2
  )
 )
 (setq       AA2  aa
    CC2  cc
    gz2  gz
    gi1  gi
    z2   z
    GIA2 GIA
    AG1  AG
    AG4  AG
    R1   0
    r2   0
    ss1  ss
 )
 (while (and (> i3 r1) (> qq q))
  (Setq AA1 (Polar AA2 (- (/ PI 2)) (* i4 m1))
     Z1  (+ z2 i4)
     gi2 gi1
  )
  (intr z1 b)
  (Setq gi1  (* p a)
     GIA1 (Polar AA1 0 (* (* gi1 m) m1))
     gz1  (+ gz2 (* y i4))
     cc1  (POLAR aa1 Pi (* (* gz1 m) m1))
  )
  (command "_Line" AA2 AA1 "")
  (command "_Line" GIA2 GIA1 "")
  (command "_Line" CC2 CC1 "")
  (if          (> (* gi1 6) gz1)
   (Setq qq 2)
   (Setq qq 0)
  )
                                        ; цикл
  (epir3 qq q aa2 aa1 di2 di1)
  (if          (> d1 0)
   (progn (Setq ss2 (* (* 0.8 (/ (+ gi1 gi2) 2)) (/ i4 ee))
              ss1 (+ ss1 ss2)
          )
          (command "_Line" aa1 gia1 "")
   )
  )
  (Setq CC2  CC1
     AA2  AA1
     GIA2 GIA1
     z2   z1
     gz2  gz1
     r1   (+ r1 1)
                                        ; цикл (> i3 r1)
  )
 )
 (grunt d1 AG1 aa1 q qq)
 (setq AG1 AG4)
 (while (and (> ii3 r2) (> qq q))
  (Setq AA1 (Polar AA2 (- (/ PI 2)) (* ii4 m1))
```

```
        z1  (+ z2 ii4)
        gi2 gi1
      )
      (intr z1 b)
      (Setq gi1  (* p a)
        GIA1 (Polar AA1 0 (* (* gi1 m) m1))
      )
      (command "_Line" AA2 AA1 "")
      (command "_Line" GIA2 GIA1 "")
      (Setq gz1 (+ gz2 (- (* y ii4) (* 0.01 ii4)))
                                        ; построение эпюры напряжений в грунте
        CC1 (POLAR aa1 Pi (* (* gz1 m) m1))
      )
      (command "_Line" CC2 CC1 "")
      (if          (> (* gi1 6) gz1)
        (Setq qq 2)                     ; тогда
        (Setq qq 0)
      )                                 ; иначе цикл
      (epir3 qq q aa2 aa1 di2 di1)
      (if          (> d2 0)
        (progn (Setq ss2 (* (* 0.8 (/ (+ gi1 gi2) 2)) (/ ii4 ee))
                 Ss1 (+ ss1 ss2)
           )
           (command "_Line" aa1 gia1 "")
        )
      )
      (Setq CC2  CC1
        AA2  AA1
        GIA2 GIA1
        z2   z1
        gz2  gz1
        r2   (+ r2 1)                   ; цикл    (> ii3 r2)
      )
    )
    (grunt d2 AG1 aa1 q qq)
    (setq AG1 AG4)
  )
                                        ; Функция построения столба грунтов
  (Defun grunt (d AG1 aa1 q qq)
    (IF (> d 0)
      (progn
        (Setq AG2       (Polar AG1 0 (* 200 m1))
          AG4 (Polar AG1 (- (/ PI 2)) (* D m1))
          AG3 (Polar AG2 (- (/ PI 2)) (* D m1))
        )
                                        ; (command "_Line" AG1 AG2 AG3 AG4 "з")
        (command "_Line" AG1 AG2 AG3 AG4 AG1 "")
      )
      (IF         (> qq q)
        (command "_Line" AG3 AA1 "")
      )
    )
  )                                     ; Defun
                                        ; Функция построения эпюр пересечений
  (Defun epir3 (qq q aa2 aa1 di2 di1)
    (IF (< qq q)
```

```
    (PROGN
      (Setq CCC       (polar aa2 pi (* (* (* gi2 6) m) m1))
         CCC1 (polar aa1 pi (* (* (* gi1 6) m) m1))
         hh     (+ z1 s1)
      )
      (command "_Line" AA2 CCC CCC1 AA1 "")
    )
  )
)                                        ; Defun

;Функция  интерполяции
(Defun intr (z b)
  (Setq       s (/ (* 2 z) b)
     A (cond
        ((<= s 0.4) (- 1 (* (/ (- s 0) (- 0.4 0)) (- 1 0.997))))
        ((<= s 0.8)
         (- 0.997 (* (/ (- s 0.4) (- 0.8 0.4)) (- 0.997 0.881)))
        )
        ((<= s 1.2)
         (- 0.881 (* (/ (- s 0.8) (- 1.2 0.8)) (- 0.881 0.755)))
        )
        ((<= s 1.6)
         (- 0.755 (* (/ (- s 1.2) (- 1.6 1.2)) (- 0.755 0.642)))
        )
        ((<= s 2)
         (- 0.642 (* (/ (- s 1.6) (- 2 1.6)) (- 0.642 0.550)))
        )
        ((<= s 2.4)
         (- 0.550 (* (/ (- s 2) (- 2.4 2)) (- 0.550 0.477)))
        )
        ((<= s 2.8)
         (- 0.477 (* (/ (- s 2.4) (- 2.8 2.4)) (- 0.477 0.420)))
        )
        ((<= s 3.2)
         (- 0.420 (* (/ (- s 2.8) (- 3.2 2.8)) (- 0.420 0.374)))
        )
        ((<= s 3.6)
         (- 0.374 (* (/ (- s 3.2) (- 3.6 3.2)) (- 0.374 0.337)))
        )
        ((<= s 4)
         (- 0.337 (* (/ (- s 3.6) (- 4 3.6)) (- 0.337 0.306)))
        )
        ((<= s 4.4)
         (- 0.306 (* (/ (- s 4) (- 4.4 4)) (- 0.306 0.280)))
        )
        ((<= s 4.8)
         (- 0.280 (* (/ (- s 4.4) (- 4.8 4.4)) (- 0.280 0.258)))
        )
        ((<= s 5.2)
         (- 0.258 (* (/ (- s 4.8) (- 5.2 4.8)) (- 0.258 0.239)))
        )
        ((<= s 5.6)
         (- 0.239 (* (/ (- s 5.2) (- 5.6 5.2)) (- 0.239 0.223)))
        )
        ((<= s 6)
         (- 0.223 (* (/ (- s 5.6) (- 6 5.6)) (- 0.223 0.208)))
        )
        ((<= s 6.4)
```

```
            (- 0.208 (* (/ (- s 6) (- 6.4 6)) (- 0.208 0.196)))
           )
           ((<= s 6.8)
            (- 0.196 (* (/ (- s 6.4) (- 6.8 6.4)) (- 0.196 0.185)))
           )
           ((<= s 7.2)
            (- 0.185 (* (/ (- s 6.8) (- 7.2 6.8)) (- 0.185 0.175)))
           )
           ((<= s 7.6)
            (- 0.175 (* (/ (- s 7.2) (- 7.6 7.2)) (- 0.175 0.166)))
           )
           ((<= s 8)
            (- 0.166 (* (/ (- s 7.6) (- 8 7.6)) (- 0.166 0.158)))
           )
           ((<= s 8.4)
            (- 0.158 (* (/ (- s 8) (- 8.4 8)) (- 0.158 0.150)))
           )
           ((<= s 8.8)
            (- 0.150 (* (/ (- s 8.4) (- 8.8 8.4)) (- 0.150 0.143)))
           )
           ((<= s 9.2)
            (- 0.143 (* (/ (- s 8.8) (- 9.2 8.8)) (- 0.143 0.137)))
           )
           ((<= s 9.6)
            (- 0.137 (* (/ (- s 9.2) (- 9.6 9.2)) (- 0.137 0.132)))
           )
           ((<= s 10)
            (- 0.132 (* (/ (- s 9.6) (- 10 9.6)) (- 0.132 0.126)))
           )
           ((<= s 10.4)
            (- 0.126 (* (/ (- s 10) (- 10.4 10)) (- 0.126 0.122)))
           )
           ((<= s 10.8)
            (- 0.122 (* (/ (- s 10.4) (- 10.8 10.4)) (- 0.122 0.117)))
           )
           ((<= s 11.2)
            (- 0.117 (* (/ (- s 10.8) (- 11.2 10.8)) (- 0.117 0.113)))
           )
           ((<= s 11.6)
            (- 0.113 (* (/ (- s 11.2) (- 11.6 11.2)) (- 0.113 0.109)))
           )
           ((>=s 11.6)
            (- 0.109 (* (/ (- S 11.6) (- 12 11.6)) (- 0.109 0.106)))
           )
           (T "")
          )                                ; cond
     )                                     ; Setq
)                                          ; Defun Конец функции интерполяции
```

Результаты вычислений показали, что с помощью разработанной программы можно получить эскиз расчетной схемы фундамента на естественном основании, а также различные интересующие показатели, например, суммарные осадки фундамента, нижнюю границу сжимаемой толщи и др., что позволит проводить численное моделирование нагрузок на фундамент здания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчет осадков фундамента является важным этапом при проектировании зданий, от которого в целом будет зависеть долговечность и надежность конструктивных элементов здания. Показаны методика расчета, укрупненный алгоритм программы, результаты построения эпюр инженерно-

геологические элементов и нижняя граница сжимаемой толщи. В методике расчета также учитывается глубина заложения грунтовых вод. Расчет и построение эпюр нагружения выполнены в AutoCAD, но могут быть реализованы на отечественном продукте NanoCAD. Применение разработанной программы в проектных и учебных целях будет способствовать импортозамещению, а также ускорит расчет осадков фундамента.

Программа может стать основой для усовершенствования расчетов и в дальнейшем может быть дополнена другими расчетными схемами.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Баринова А.В., Веремеев Д.В. Сравнительный анализ осадки фундамента по результатам расчетов аналитическим методом и методом конечных элементов // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2022. Т. 1. С. 188–194. EDN: QDQNKA.
2. Филиппов А.Н. Численное моделирование и расчет осадки здания в Лира-САПР и Midas GTS NX // Проблемы науки. 2021. № 9. С. 22–29. https://doi.org/10.24411/2413-2101-2021-10901. EDN: WKEIFV.
3. Горлов А.А., Фоменко И.К. Стохастический расчет осадки основания фундамента с использованием метода случайных конечных элементов (RFEM) // Инженерные изыскания в строительстве. Шестая общероссийская науч.-практ. конф. молодых специалистов «Инженерные изыскания в строительстве» (г. Москва, 25 апреля 2024 г.). М., 2024. С. 150–156. EDN: NXONBU.
4. Баранова А.А., Заборик А.С. Сравнительный анализ расчета осадки основания свайного фундамента по СНИП и СП // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2024. № 11. С. 188–189. EDN: KHENSC.
5. Мельников В.А., Алексеев Н.С., Ионов К.И. Сравнительный анализ методик расчета осадки свайных фундаментов // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 9-1. С. 37–45. EDN: ULQMFZ.
6. Лушников В.В. Оценка двух нормативных методов расчета осадок фундаментов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2016. Т. 7. № 4. С. 15–30. https://doi.org/10.15593/2224-9826/2016.4.02. EDN: XHOMRL.
7. Дыба В.П., Галашев Ю.В., Осипова О.Н. Уточнение методов расчета осадок фундаментов по данным лотковых и натурных экспериментов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2011. № 3. С. 23–26. EDN: SAHMKR.
8. Дубинин Д.П. Расчет осадки фундамента конструкции по оптимизированному методу послойного суммирования // Перспективы науки. 2021. № 5. С. 82–86. EDN: MXKZNR.
9. Конюшков В.В. Анализ методов аналитических расчетов осадок фундаментов во времени // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 4. С. 106–114. https://doi.org/10.23968/1999-5571-2020-17-4-106-114. EDN: OMNHBO.
10. Денисенко А.П., Новожилова Д.И., Нуждин Л.В. Расчет осадков фундаментов в программном комплексе SCAD OFFICE // Интеллектуальный потенциал Сибири. 26-я региональная научная студенческая конференция «Интеллектуальный потенциал Сибири» (г. Новосибирск, 22–24 мая 2018 г.). Новосибирск, 2018. С. 165–167. EDN: GFMBBD.
11. Лукьянов А.И., Тюфанов В.А. Выбор модели грунтового основания, реализованных в ПК SCAD Office // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2021. № 1. С. 29–37. https://doi.org/10.34031/2071-7318-2021-6-1-29-37. EDN: EODSEE.
12. Дедоша А.О., Катин Л.В. Автоматизация процесса проектирования фундаментов на естественном основании // Бурение и нефть. 2020. № 10. С. 1–41. EDN: WFQWWD.
13. Kostarev S.N., Sereda T.G., Kochetova O.V., Sidorova K.A. Technological and Constructor Solutions for The Design of Silage Trenches Using CAD // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 421. Iss. 4. P. 1–7. http://doi.org/10.1088/1755-1315/421/4/042010.
14. Костарев С.Н., Мурынов А.И. Автоматизированное проектирование, управление и системный анализ природно-технических объектов утилизации отходов // САПР и графика. 2010. № 3. С. 78–80. EDN: RZEUXF.
15. Костарев С.Н., Середа Т.Г. Анализ технического состояния здания на примере цеха подготовки кормов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 2. С. 311–325. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-2-311-325. EDN: UZYSDP.

REFERENCES

1. Barinova A.V., Veremeev D.V. Comparative Analysis of the Foundation Settlement According to The Results of Calculations by The Analytical Method and The Finite Element Method. *Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika.* 2022; 1: 188-194. (In Russ.). EDN: QDQNKA.

2. Filippov A.N. Numerical Modeling and Calculation of Building Settlement in Lira-CAD and Midas GTS NX. *Problems of Science*. 2021;9:22-29. (In Russ.). https://doi.org/10.24411/2413-2101-2021-10901. EDN: WKEIFV.
3. Gorlov A.A., Fomenko I.K. Stochastic Calculation of the Yield of the Foundation Base Using the Random Finite Element Method (RFEM). In: *Inzhenernye izyskaniya v stroitel'stve. Shestaya obshcherossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya molodykh spetsialistov «Inzhenernye izyskaniya v stroitel'stve» = Engineering Surveys in Construction. The Sixth All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Specialists "Engineering Surveys in Construction".* 25 April 2024, Moscow. Moscow; 2024. p. 150–156. (In Russ.). EDN: NXONBU.
4. Baranova A.A., Zaborik A.S. Comparative Analysis of the Calculation of the Sediment of the Pile Foundation Base According to SNP and SP. *Modern Technologies and Scientific and Technological Progress.* 2024;11:188-189. (In Russ.). EDN: KHENSC.
5. Melnikov V.A., Alekseev N.S., Ionov K.I. A Comparative Analysis of Methodologies for Calculating Precipitation Pile Foundations. *Modern Scientific Researches and Innovations*. 2015;9-1:37-45. (In Russ.). EDN: ULQMFZ.
6. Lushnikov V.V. Evaluation of Two Normative Methods of Calculation Deformations of Foundations. *PNRPU Bulletin. Construction and Architecture.* 2016; 7(4): 15-30. (In Russ.). https://doi.org/10.15593/2224-9826/2016.4.02. EDN: XHOMRL.
7. Duba V.P., Galashev Y.V., Osipova O.N. More Precisely Defined Methods of Foundation-Settlement Calculation Based On Tray and In-Situ Experiments. *Soil Mechanics and Foundation Engineering.* 2011;3:23-26. (In Russ.). EDN: SAHMKR.
8. Dubinin D.P. Calculation of The Settlement of the Foundation of the Structure Using the Method of Optimized Layer-By-Layer Summation. *Science Prospects*. 2021; 5: 82-86. (In Russ.). EDN: MXKZNR.
9. Konyushkov V.V. Analysis of Methods of Analytical Calculations of Foundation Settlements in Time. *Bulletin of Civil Engineers*. 2020;4:106-114. (In Russ.). https://doi.org/10.23968/1999-5571-2020-17-4-106-114. EDN: OMNHBO.
10. Denisenko A.P., Novozhilova D.I., Nuzhdin L.V. Calculation of Foundation Settlements in The SCAD OFFICE Software Package. In: *Intellektual'nyi potentsial Sibiri. 26-ya regional'naya nauchnaya studencheskaya konferentsiya «Intellektual'nyi potentsial Sibiri» = Intellectual Potential of Siberia. 26th Regional Scientific Student Conference "Intellectual Potential of Siberia".* 22–24 May 2018, Novosibirsk. Novosibirsk; 2018. p. 165–167. (In Russ.). EDN: GFMBBD.
11. Lukyanov A.I., Tyufanov V.A. Selection of The Ground Base Model Implemented in The SCAD Office. *Bulletin of Belgorod State Technological University Named After V.G. Shukhov.* 2021;1:29-37. (In Russ.). https://doi.org/10.34031/2071-7318-2021-6-1-29-37. EDN: EODSEE.
12. Dedosha A.O., Katin L.V. Design Process Automation of the Shallow Foundations. *Burenie i neft'*. 2020;10:1-41. (In Russ.). EDN: WFQWWD.
13. Kostarev S.N., Sereda T.G., Kochetova O.V., Sidorova K.A. Technological and Constructor Solutions for The Design of Silage Trenches Using CAD. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2020;421(4):1-7. http://doi.org/10.1088/1755-1315/421/4/042010.
14. Kostarev S.N., Murynov A.I. Automated Design, Management and System Analysis of Natural and Technical Waste Disposal Facilities. *SAPR i grafika.* 2010;3:78-80. (In Russ.). EDN: RZEUXF.
15. Kostarev S.N., Sereda T.G. Analysis of The Technical Condition of Building Structures On the Example of a Feed Preparation Workshop. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(2):311-325. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-2-311-325. EDN: UZYSDP.

Информация об авторах

Середа Татьяна Геннадьевна,
д.т.н., доцент, профессор кафедры строительных технологий,
Пермский государственный аграрно-технологический университет им. академика Д.Н. Прянишникова,
614099, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23,
Россия,
e-mail: iums@dom.raid.ru
https://orcid.org/0000-0002-7682-9013
Author ID: 434093

Information about the authors

Tatyana G. Sereda,
Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Professor of the Department of Construction Production,
Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov,
23 Petropavlovskaja St., Perm 614990,
Russia,
e-mail: iums@dom.raid.ru
https://orcid.org/0000-0002-7682-9013
Author ID: 434093

Костарев Сергей Николаевич,
д.т.н., доцент,
профессор кафедры зоотехнии,
Пермский институт ФСИН России,
614012, г. Пермь, ул. Карпинского, 125, Россия,
профессор кафедры информационных технологий и автоматизированных систем,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614099, г. Пермь, ул. Комсомольский пр., 29, Россия,
✉e-mail: iums@dom.raid.ru
https://orcid.org/0000-0002-3097-7037
Author ID: 353194

Критерии авторства

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 03.02.2025.
Одобрена после рецензирования 18.02.2025.
Принята к публикации 20.02.2025.

Sergey N. Kostarev,
Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Professor of the Department of Animal Science,
Perm Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia,
125 Karpinskogo St., Perm 614012, Russia,
Professor of the Department Information Technologies and Automated Systems,
Perm National Research Polytechnic University,
29 Komsomolsky Ave. St., Perm 614099, Russia,
✉e-mail: iums@dom.raid.ru
https://orcid.org/0000-0002-3097-7037
Author ID: 353194

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 03.02.2025.
Approved after reviewing 18.02.2025.
Accepted for publication 20.02.2025.

Научная статья
УДК 625.12:627.5
EDN: LIIKCR
DOI: 10.21285/2227-2917-2025-2-292-300

Сценарии аварий сооружений инженерной защиты объектов транспорта от гидродинамических воздействий морских волн

Г.В. Тлявлина[1]✉, Р.М. Тлявлин[2], Г.А. Емельянова[3]
[1,2]Центральный научно-исследовательский институт транспортного строительства (ЦНИИТС), Обособленное подразделение «НИЦ “Морские берега”», Сочи, Россия
[3]Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия

Аннотация. Объектами исследования являются сооружения инженерной защиты автомобильных и железных дорог, включая мостовые переходы, расположенные на берегах морей, от размыва при воздействии морских штормовых волн. На примере одного из наиболее уязвимых с точки зрения размыва морскими волнами участка Туапсе–Адлер Северо-Кавказской железной дороги были рассмотрены традиционные конструкции инженерной защиты – искусственная волногасящая полоса с пляжеудерживающими сооружениями (морскими бунами) и волноотбойная стена. Приведено описание условий эксплуатации гидротехнических сооружений, влияющих на их надежность. Представлена характеристика вариантов берегозащиты по безопасности эксплуатации железной дороги. При выполнении исследований использованы материалы натурных обследований и полевых работ, проведенных авторами за многолетний период, с использованием методов математического и физического (гидравлического) моделирования. По результатам исследования разработаны сценарии наиболее вероятной и наиболее тяжелой аварий на морских берегозащитных сооружениях, защищающих объекты транспорта. Следовательно, по сценарию наиболее тяжелой аварии на гидротехническом сооружении чрезвычайные ситуации могут достигать регионального характера, а по сценарию наиболее вероятной аварии – локального характера. Предложенные сценарии аварий могут быть использованы для определения значения риска аварии при оценке вероятного вреда, который может быть причинен в результате аварии рассмотренных сооружений инженерной защиты.

***Ключевые слова*:** авария, буна, волноотбойная стена, гидродинамическое воздействие волн, дороги, защитная волногасящая полоса, размыв, транспортные сооружения

***Для цитирования*:** Тлявлина Г.В., Тлявлин Р.М., Емельянова Г.А. Сценарии аварий сооружений инженерной защиты объектов транспорта от гидродинамических воздействий морских волн // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 2. С. 292–300. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-292-300. EDN: LIIKCR.

Original article

Scenarios of accidents of engineering structures protecting transport facilities from the hydrodynamic effects of sea waves

Galina V. Tlyavlina[1]✉, Roman M. Tlyavlin[2], Galina A. Emelianova[3]
[1,2]Central research institute of Transport Construction, R&D Centre “Morskie berega”, Sochi, Russia
[3]Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

Abstract. The objects of the study are engineering structures for the protection of roads and railways, including bridge crossings located on the shores of the seas, from erosion caused by sea storm waves. Using the example of one of the most vulnerable sections of the Tuapse-Adler section of the North Caucasus Railway from the point of view of sea waves, traditional engineering protection structures were examined – an artificial wave-extinguishing strip with beach-retaining structures (sea booms) and a

© Тлявлина Г.В., Тлявлин Р.М., Емельянова Г.А., 2025

breakwater wall. The description of the operating conditions of hydraulic structures affecting their reliability is given. The characteristics of coastal protection options for the safety of railway operation are presented. When carrying out the research, materials from field surveys and field work carried out by the authors over a long period of time were used using mathematical and physical (hydraulic) modeling methods. Based on the results of the study, scenarios for the most likely and most severe accidents at offshore coastal protection structures protecting transport facilities have been developed. Consequently, in the scenario of the most severe accident at a hydraulic engineering facility, emergencies can reach a regional nature, and in the scenario of the most likely accident - a local nature. The proposed accident scenarios can be used to determine the value of the accident risk when assessing the likely damage that may be caused as a result of an accident of the considered engineering protection structures.

Keywords: accident, erosion, groin, hydrodynamic effects of waves, protective beach, roads, sea wall, transport facilities

For citation: Tlyavlina G.V., Tlyavlin R.M., Emelianova G.A. Scenarios of accidents of engineering structures protecting transport facilities from the hydrodynamic effects of sea waves. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(2):292-300. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-292-300. EDN: LIIKCR.

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании и эксплуатации транспортных сооружений (мостовых переходов, автомобильных и железных дорог) в береговой зоне морей одной из целей является защита от гидродинамического воздействия морских штормовых волн.

Наиболее часто для обеспечения надежной защиты от размыва используют следующие типы конструкций:

– волноотбойные стены;

– свободные волногасящие полосы (песчаные или галечные пляжи);

– волногасящие полосы с удерживающими сооружениями (бунами или волноломами);

– волногасящие бермы из камня либо фасонных массивов (гексабитов, тетраподов и др.).

Если для защиты мостовых переходов (в том числе мостовых опор) от волнового воздействия в основном используют откосные набросные конструкции, то для защиты линейных транспортных объектов (автомобильных и железных дорог) зачастую требуется возведение целого комплекса берегозащитных сооружений, например, подпорно-волноотбойных стен с защитной волногасящей полосой с бунами.

В практике транспортного строительства известно значительное количество аварий, анализу и предотвращению которых посвящено множество исследований как в нашей стране, так и за рубежом. Однако до сих пор далеко не все вопросы по обеспечению надежной эксплуатации мостовых переходов, автомобильных и железных дорог на берегах морей изучены в достаточной степени [1–5]. Сооружения инженерной защиты от волнового воздействия (берегозащитные, берегоукрепительные) относятся к гидротехническим (ГТС).

Наряду с исследованием аспектов устойчивости защитных конструкций, их защитных и волногасящих свойств [2, 6], важным становится прогноз [7, 8] и оценка рисков аварий [15–18].

Для корректной и адекватной оценки рисков, а также определения размера вреда, который может причинить разрушение конструкций, необходимо разработать сценарии возможных аварий ГТС [13].

Цель настоящей работы – подготовка данных для оценки вероятного вреда, который может быть причинен в результате аварий сооружений инженерной защиты объектов транспорта (железнодорожного полотна, включая мосты) от гидродинамических воздействий морских волн на участке Туапсе–Адлер (Черноморское побережье Краснодарского края).

На примере одного из наиболее уязвимых, с точки зрения размыва морскими волнами, участка железной дороги были рассмотрены традиционные конструкции инженерной защиты, описаны условия эксплуатации гидротехнических сооружений, влияющих на их надежность, охарактеризованы варианты берегозащиты по безопасности эксплуатации железной дороги, разработаны сценарии наиболее тяжелой и наиболее вероятной аварий сооружений инженерной защиты.

МЕТОДЫ

При выполнении исследования были использованы материалы полевых работ, проведенных авторами с 2004 по 2024 г.: батиметрические и топографические съемки, обследование береговой зоны и берегозащитных сооружений (подпорно-волноотбойных стен, бун, волногасящей полосы, набросных берм и т.п.)

[2, 14–16], а также данные, полученные на основе анализа протекающих береговых процессов с учетом поступления из рек пляжеобразующего материала и конфигурации береговой линии [2, 17]. Также учтены результаты, полученные авторами с использованием методов математического и физического (гидравлического) моделирования [2, 15].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Железная дорога на участке Туапсе–Адлер на 70 % своего протяжения (порядка 70 км) пролегает по береговому уступу Черного моря. Он подвержен воздействию целого ряда неблагоприятных геологических процессов [14, 18]:

– с нагорной стороны – обвалам, осыпям, оползням, эрозии, связанной с особенностями геологического строения грунтов;

– с морской стороны – абразии берега, вызванной агрессивным волновым воздействием моря.

До начала 60-х гг. основное внимание было направлено на возведение подпорно-волноотбойных стен (так как железнодорожное полотно пролегает по полке, врезанной в береговой уступ). Позднее стало ясно, что только строительством волноотбойных стен задачи защиты железнодорожного пути с целью обеспечения бесперебойного движения поездов и предохранение земляного полотна от размыва решены быть не могут. Необходимо было восстановить размытые естественные пляжи, так как пляж должных размеров является самой надежной защитой берега и возведенных сооружений. В настоящее время для создания волногасящей полосы, способной защитить подпорно-волноотбойные стены, требуются периодические отсыпки пляжеобразующего материала.

Волновой режим прилегающей акватории моря характеризуется преобладанием волнений от юга до запада. Суммарная повторяемость волнений в этом секторе составляет 98 %. Оценка волновых условий в районе г. Сочи производится по материалам наблюдений на Сочинской морской гидрометеостанции. Измерения параметров волн выполняются в прибрежной полосе на глубине 5 м. В связи с мелководностью в месте измерений высота волн не может быть больше 4 м. Поэтому, большинство зафиксированных за многолетний период наблюдений штормов соответствуют 5 баллам (до 3,5 м) по шкале балльности волнения, и только отдельные – к 6 баллам (от 3,5 до 6,0 м). Косвенным показателем силы шторма является период волны, который для условий открытого моря тесно связан с высотой волны. В прибрежной полосе преобладают течения, направленные на северо-запад. Скорости этих течений в поверхностном слое составляют 0,1–0,4 м/с, а максимальные достигают 0,9 м/с.

Черное море относится к морям с незначительными колебаниями уровня воды. Колебания уровня моря, обусловленные приливными явлениями, не превышают нескольких сантиметров. Ход уровня Черного моря определяется изменениями составляющих водного баланса – поверхностным речным стоком, осадками и испарением. Уровень моря претерпевает сезонные колебания. Сезонные изменения уровня моря являются следствием колебания речного стока, осадков и штормовой активности. Обычно более высокое стояние уровня наблюдается в мае–июле, а его понижение – в октябре–ноябре, а в некоторых местах в январе–феврале. Разность между летним и зимним положениями уровня равна 30–40 см. Эти колебания создаются за счет неодинакового, от сезона к сезону, поступления речных вод в море, поэтому они наиболее отчетливо выражены в районах влияния материкового стока.

Береговой склон сформирован отложениями верхнего палеогена, представляющих собой переслаивание среднезернистых песчаников и синевато-серых аргиллитов. До строительства железной дороги участок был представлен абразионным клифом. Рельеф местности гористый, горы подступают вплотную к береговой линии Черного моря. Динамика пляжной зоны определяется вдольбереговым потоком наносов, идущем в направлении от г. Туапсе в сторону г. Адлера.

Рельеф дна характеризуется узким шельфом и сильно расчлененным материковым склоном. Ширина шельфа составляет в среднем 8 км. Граница редко превышает глубину 110 м. Переход к материковому склону резкий, уклон составляет 15–20 °. Склон сильно расчленен каньонами, часть которых приурочена к устьям рек, осложнен грядами и возвышенностями, основания которых распространяются до глубин 1400–1800 м. На северо-восточном шельфе выделены три эколого-батиметрические зоны: мелководная (до глубины 30 м), переходная (глубины 30–100 м), свал глубин (глубины от 100–1500 м).

На берегах, используемых в рекреационных целях, наиболее экономичным и надежным для нормальной эксплуатации железнодорожного полотна, отвечающим современным нормам проектирования морских берегозащитных сооружений, является вариант, сочетающий три основных типа сооружений:

– подпорно-волноотбойная стена;

– защитная волногасящая полоса (пляж);

– пляжеудерживающие сооружения (каменнонабросные либо бетонные буны).

На участках, которые в рекреационных целях не используются, вместо защитной волногасящей полосы с бунами наиболее экономичным вариантом будет строительство перед подпорно-волноотбойной стеной бермы из камня или фасонных массивов (гексабитов либо тетраподов).

В таблице представлена характеристика вариантов берегозащиты по безопасности эксплуатации железной дороги.

Характеристика сценариев разрушения берегоукрепления по уровню опасности для эксплуатации железной дороги
Characteristics of scenarios for the destruction of coastal protections by the level of danger to railway

№ п.п.	Вариант берегоукрепления	Сценарий	Меры по ликвидации последствий	Уровень опасности для эксплуатации железной дороги
1	Волноотбойная стена	Частичное разрушение волноотбойной стены приведет к немедленному размыву земляного полотна железной дороги и к прекращению железнодорожного сообщения до восстановления стены	Реконструкция или новое строительство волноотбойной стены, восстановление железнодорожного полотна	Критический
2	Волноотбойная стена, свободный волногасящий пляж	Полный размыв пляжа, угроза подмыва и разрушения волноотбойной стены	Восстановление пляжа	Не критический
3	Волноотбойная стена, волногасящий пляж под защитой каменнонабросных бун	Полное разрушение каменнонабросных бун приведет к размыву пляжа. Частичное разрушение – частичный размыв пляжа	Восстановление бун и пляжа	Не критический
4	Волноотбойная стена, волногасящий пляж под защитой бетонных бун	Полное разрушение бетонной буны невозможно. Частичное разрушение приведет к частичному размыву пляжа	Восстановление бун и пляжа	Не критический
5	Волноотбойная стена, защитная волногасящая берма из камня	Полное разрушение каменнонабросной бермы приведет к угрозе подмыва волноотбойной стены	Восстановление бермы	Не критический
6	Волноотбойная стена, защитная волногасящая берма из тетраподов	Полное разрушение бермы из тетраподов приведет к угрозе подмыва волноотбойной стены	Восстановление бермы	Не критический

Следует отметить, что при наличии пляжа либо бермы перед волноотбойной стеной в случае своевременного принятия мер по восстановлению последних, угрозы для нормальной эксплуатации железой дороги нет. Именно поэтому авторами в нормативные документы СП 277.1325800.2016 и СП 416.1324800.2018 внесены требования о недопустимости строительства волноотбойных стен без волногасящих сооружений перед ними. Класс гидротехнических сооружений: волноотбойных стен – II, бун и защитной волногасящей полосы – III (СП 58.13330.2019 п. 5, табл. Б1, приложение Б). Расчетный срок службы ГТС согласно СП 58.13330.2019 «Гидротехнические сооружения. Основные положения» для сооружений II класса составляет 100 лет, для сооружений III класса – 50 лет.

На рис. 1 представлено сопоставление общей стоимости (строительства и эксплуатационных подсыпок) для различных вариантов берегоукрепления по состоянию на 2024 г.



Рис. 1. Сопоставление общей стоимости (строительства и эксплуатационных подсыпок) для различных вариантов берегоукрепления
Fig. 1. Comparison of the total cost (construction and operational backfills) for various shore protection structures

Для рассматриваемого комплекса ГТС возможны следующие варианты аварий (повреждений):

1. Сценарий наиболее вероятной аварии – прохождения штормов редкой повторяемости. Как следствие, возможны локальные размывы защитной волногасящей полосы или нарушение проектного профиля волногасящей полосы на всем протяжении объекта вдоль берега. При данном сценарии ГТС не сможет в полной мере выполнять функции по защите земляного полотна железной дороги от размыва штормовыми волнами, однако остается работоспособным до устранения дефектов (рис. 2).

2. Сценарий наиболее тяжелой аварии – значительные размывы защитной волногасящей полосы, последующий подмыв волноотбойных стен и вымывание грунта обратной засыпки, разрушение земляного полотна железной дороги.

Данный сценарий возможен при воздействии природных, техногенных факторов в комплексе с эксплуатационными (несвоевременное обнаружение и устранение дефектов) (рис. 3).



Рис. 2. Вид объекта в случае реализации сценария наиболее вероятной аварии на берегозащитном гидротехническом сооружении (размыв волногасящей полосы)
Fig. 2. Type of object in case of realization of the scenario of the most probable accident on the coastal protection structure (beach erosion)



Рис. 3. Вид объекта в случае реализации сценария наиболее тяжелой аварии на берегозащитном гидротехническом сооружении (обрушение подпорно-волноотбойной стены)
Fig. 3. Type of object in case of realization of the scenario of the most severe accident on a coastal protection structure (collapse of a sea wall)

В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 21 мая 2007 г. № 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» при аварии на гидротехническом сооружении чрезвычайные ситуации могут достигать:

– по сценарию наиболее тяжелой аварии ГТС – регионального характера;

– по сценарию наиболее вероятной аварии ГТС – локального характера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе исследований были решены следующие задачи: на примере участка Туапсе–Адлер Северо-Кавказской железной дороги рассмотрены традиционные конструкции инженерной защиты, описаны условия эксплуатации берегозащитных сооружений, влияющие на их надежность, дана характеристика вариантов берегозащиты по безопасности эксплуатации железной дороги.

Также были разработаны сценарии наиболее тяжелой и наиболее вероятной аварий сооружений инженерной защиты. По результатам работы можно сделать следующие выводы:

– из-за размывов в береговой зоне деформациям подвергается и само земляное полотно;

– в результате недостаточной ширины волногасящей полосы волны напрямую воздействуют на железнодорожную насыпь;

– сценарий наиболее вероятной аварии на берегозащитном ГТС – размыв волногасящей полосы;

– сценарий наиболее тяжелой аварии на берегозащитном ГТС – обрушение подпорно-волноотбойной стены;

– по сценарию наиболее тяжелой аварии на ГТС чрезвычайные ситуации могут достигать регионального характера, а по сценарию наиболее вероятной аварии – локального характера.

Разработанные сценарии аварий сооружений инженерной защиты объектов транспорта от гидродинамических воздействий морских

волн могут быть использованы при расчете вероятного вреда при разрушении конструкций ГТС, а также при разработке деклараций ГТС в составе проектной документации на строительство и реконструкцию объектов, проектируемых и эксплуатируемых в береговой зоне морей, например, на приморских участках автомобильных и железных дорог.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Qin Chen, Lixia Wang, Haihong Zhao, Douglass S.L. Prediction of Storm Surges and Wind Waves on Coastal Highways in Hurricane-Prone Areas // Journal of Coastal Research. 2007. Vol. 23. Iss. 5. P. 1304–1317. https://doi.org/10.2112/05-0465.1.
2. Тлявлина Г.В. Лабораторные и натурные исследования в обеспечение развития нормативной базы и безопасности транспортных сооружений в условиях волнового воздействия // Транспортные сооружения. 2022. Т. 9. № 4. С. 1–19. https://doi.org/10.15862/10SATS422. EDN: JVREME.
3. De Finis S., Romano A., Bellotti G. Numerical and Laboratory Analysis of Post-Overtopping Wave Impacts On a Storm Wall for a Dike-Promenade Structure // Coastal Engineering. 2020. Vol. 155. P. 1–13. https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.103598.
4. Weiqiu Chen, Marconi A., van Gent M.R.A., Warmink J.J., Hulscher S.J.M.H. Experimental Study on the Influence of Berms and Roughness on Wave Overtopping at Rock-Armoured Dikes // Journal of Marine Science and Engineering. 2020. Vol. 8. Iss. 6. P. 1–21. https://doi.org/10.3390/jmse8060446.
5. Курбанов С.О., Ханов Н.В., Черных О.Н. Проблемы и пути решения вопросов инженерной защиты и восстановления прибрежных нарушенных земель городских территорий // Природообустройство. 2023. № 1. С. 38–46. https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-1-38-46. EDN: RSHSEQ.
6. Saengsupavanich C. Flaws in Coastal Erosion Vulnerability Assessment: Physical and Geomorphological Parameters // Arabian Journal of Geosciences. 2022. Vol. 15. P. 1–17. https://doi.org/10.1007/s12517-021-09368-2.
7. Lira-Loarca A., Cáceres-Euse A., De-Leo F., Besio G. Wave Modeling with Unstructured Mesh for Hindcast, Forecast and Wave Hazard Applications in The Mediterranean Sea // Applied Ocean Research. 2022. Vol. 122. P. 1–13. https://doi.org/10.1016/j.apor.2022.103118.
8. Stokes K., Poate T., Masselink G., King E., Saulter A., Ely N. Forecasting Coastal Overtopping at Engineered and Naturally Defended Coastlines // Coastal Engineering. 2021. Vol. 164. P. 1–17. https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2020.103827.
9. Deping Cao, Weikai Tan, Jing Yuan Assessment of Wave Overtopping Risk for Pedestrian Visiting the Crest Area of Coastal Structure // Applied Ocean Research. 2022. Vol. 120. P. 1–16. https://doi.org/10.1016/j.apor.2021.102985.
10. Chenlei Guan, Damin Dong, Feng Shen, Xin Gao, Linyan Chen Hierarchical Structure Model of Safety Risk Factors in New Coastal Towns: A Systematic Analysis Using the DEMATEL-ISM-SNA Method // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022. Vol. 19. Iss. 17. P. 1–17. https://doi.org/10.3390/ijerph191710496.
11. Khavansky A., Latun V., Khoroshev O., Merinova Yu., Nedoseka L. Risk Assessment of Hazardous Abrasion and Landslide Processes in The Coastal Zone of the Azov Sea // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 175. P. 1–8. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017506008.
12. Финагенов О.М., Бешлиян А.Р. Риск в гидротехнике // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2007. Т. 246. С. 107–112. EDN: IBWITV.
13. Финагенов О.М., Штильман В.Б., Шульман С.Г., Юделевич А.М. Развитие методов оценки надежности гидротехнических сооружений // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2021. Т. 300. С. 7–20. EDN: IANMJK.
14. Ashpiz E., Savin A., Tlyavlin R., Tlyavlina G. Urgent Issues of Anti-Deformation Measures to Protect Coastal Railways // 14th Medcoast Congress On Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation (Marmaris, 22–26 October, 2019). Marmaris, 2019. P. 841–852. EDN: JWHEBE.
15. Тлявлин Р.М. Оценка технического состояния волногасящих сооружений инженерной защиты земляного полотна от волнового воздействия // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2020. Т. 17. № 2. С. 198–209. https://doi.org/10.20295/1815-588X-2020-2-198-209. EDN: TWPLCB.
16. Тлявлин Р.М., Тлявлина Г.В. Оценка состояния берегозащитных сооружений железнодорожного полотна на участке Туапсе–Адлер // Транспортное строительство. 2017. № 2. С. 23–25. EDN: ZHBIBR.
17. Петров В.А., Ярославцев Н.А. Оценка величины вдольберегового потока наносов в литодинамических системах (на примере участка берега между Туапсе и Адлером) // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2020. № 4. С. 60–67. https://doi.org/10.31857/S0869780920040074. EDN: XZJJYA.

18. Тлявлина Г.В., Тлявлин Р.М., Мегрелишвили И.Ю. Сравнение показателей различных типов берегозащитных сооружений // Транспортное строительство. 2011. № 5. С. 10–12. EDN: NZAHFJ.

REFERENCES

1. Qin Chen, Lixia Wang, Haihong Zhao, Douglass S.L. Prediction of Storm Surges and Wind Waves on Coastal Highways in Hurricane-Prone Areas. *Journal of Coastal Research.* 2007;23(5):1304-1317. https://doi.org/10.2112/05-0465.1.
2. Tlyavlina G.V. Laboratory and Field Studies to Ensure the Regulatory Framework Development and The Transport Facilities' Safety in The Wave Effect Conditions. *Russian Journal of Transport Engineering.* 2022;9(4):1-19. (In Russ.). https://doi.org/10.15862/10SATS422. EDN: JVREME.
3. De Finis S., Romano A., Bellotti G. Numerical and Laboratory Analysis of Post-Overtopping Wave Impacts On a Storm Wall for a Dike-Promenade Structure. *Coastal Engineering.* 2020;155:1-13. https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.103598.
4. Weiqiu Chen, Marconi A., van Gent M.R.A., Warmink J.J., Hulscher S.J.M.H. Experimental Study on the Influence of Berms and Roughness on Wave Overtopping at Rock-Armoured Dikes. *Journal of Marine Science and Engineering.* 2020;8(6):1-21. https://doi.org/10.3390/jmse8060446.
5. Kurbanov S.O., Khanov N.V., Chernykh O.N. Problems and Ways for Solving Issues of Engineering Protection and Restoration of Coastal Disturbed Lands of Urban Territories. *Environmental Engineering.* 2023;1:38-46. (In Russ.). https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-1-38-46. EDN: RSHSEQ.
6. Saengsupavanich C. Flaws in Coastal Erosion Vulnerability Assessment: Physical and Geomorphological Parameters. *Arabian Journal of Geosciences.* 2022;15:1-17. https://doi.org/10.1007/s12517-021-09368-2.
7. Lira-Loarca A., Cáceres-Euse A., De-Leo F., Besio G. Wave Modeling with Unstructured Mesh for Hindcast, Forecast and Wave Hazard Applications in The Mediterranean Sea. *Applied Ocean Research.* 2022;122:1-13. https://doi.org/10.1016/j.apor.2022.103118.
8. Stokes K., Poate T., Masselink G., King E., Saulter A., Ely N. Forecasting Coastal Overtopping at Engineered and Naturally Defended Coastlines. *Coastal Engineering.* 2021;164:1-17. https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2020.103827.
9. Deping Cao, Weikai Tan, Jing Yuan Assessment of Wave Overtopping Risk for Pedestrian Visiting the Crest Area of Coastal Structure. *Applied Ocean Research.* 2022;120:1-16. https://doi.org/10.1016/j.apor.2021.102985.
10. Chenlei Guan, Damin Dong, Feng Shen, Xin Gao, Linyan Chen Hierarchical Structure Model of Safety Risk Factors in New Coastal Towns: A Systematic Analysis Using the DEMATEL-ISM-SNA Method. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2022;19(17):1-17. https://doi.org/10.3390/ijerph191710496.
11. Khavansky A., Latun V., Khoroshev O., Merinova Yu., Nedoseka L. Risk Assessment of Hazardous Abrasion and Landslide Processes in The Coastal Zone of the Azov Sea. *E3S Web of Conferences.* 2020. Vol. 175. P. 1–8. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017506008.
12. Finagenov O.M., Beshlian A.R. Risk in Hydroengineering. *Izvestiya Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotekhniki im. B.E. Vedeneeva.* 2007;246:107-112. (In Russ.). EDN: IBWITV.
13. Finagenov O.M., Shtilman V.B., Shulman S.G., Yudelevich A.M. Development of Methods for Assessing the Reliability of Hydraulic Structures. *Izvestiya Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotekhniki im. B.E. Vedeneeva.* 2021;300:7-20. (In Russ.). EDN: IANMJK.
14. Ashpiz E., Savin A., Tlyavlin R., Tlyavlina G. Urgent Issues of Anti-Deformation Measures to Protect Coastal Railways. In: *14th Medcoast Congress On Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation.* 22–26 October 2019, Marmaris. Marmaris; 2019. p. 841–852. EDN: JWHEBE.
15. Tlyavlin R.M. Assessment of The Technical Condition of Wave Canceling Structures for Engineering Protection of Roadbeds from Wave Exposure. *Proceedings of Petersburg Transport University.* 2020;17(2):198-209. (In Russ.). https://doi.org/10.20295/1815-588X-2020-2-198-209. EDN: TWPLCB.
16. Tlyavlin R.M., Tlyavlina G.V. Assessment of Coastal Protection Structures of the Tuapse–Adler Railway Track. *Transport Construction.* 2017;2:23-25. (In Russ.). EDN: ZHBIBR.
17. Petrov V.A., Yaroslavtsev N.A. Evaluation of Longshore Transport of Sediments in Lithodynamic Systems (By The Example of the Coast Section Between Tuapse and Adler). *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya.* 2020;4:60-67. (In Russ.). https://doi.org/10.31857/S0869780920040074. EDN: XZJJYA.
18. Tliavlina G.V., Tliavlin R.M., Megrelishvili I.Yu. Comparison of The Indices of Various Coast-Protection Structures. *Transport Construction.* 2011;5:10-12. (In Russ.). EDN: NZAHFJ.

Информация об авторах

Тлявлина Галина Вячеславовна,
к.т.н., заведующий лабораторией моделирования, расчетов и нормирования в гидротехническом строительстве, ОП АО ЦНИИТС «НИЦ “Морские берега”», 354002, г. Сочи, ул. Яна Фабрициуса, 1, Россия,
докторант кафедры мосты и тоннели, Российский университет транспорта (МИИТ). 127994, г. Москва, ГСП-4, ул. Образцова, д. 9, стр. 9,
Россия,
✉e-mail: TlyavlinaGV@Tsniis.com
https://orcid.org/0000-0003-4083-9014
Author ID: 604630

Тлявлин Роман Маратович,
к.т.н., заместитель генерального директора АО ЦНИИТС, руководитель ОП АО ЦНИИТС «НИЦ “Морские берега”»,
354002, г. Сочи, ул. Яна Фабрициуса, 1, Россия,
e-mail: TlyavlinRM@Tsniis.com
https://orcid.org/0000-0002-8648-0492
Author ID: 123325

Емельянова Галина Александровна,
д.т.н., профессор кафедры мосты и тоннели, Российский университет транспорта (МИИТ), 127994, г. Москва, ГСП-4,
ул. Образцова, д. 9, стр. 9,
Россия,
e-mail: ga_emel@mail.ru
https://orcid.org/0009-0006-0696-1592
Author ID: 318381

Information about the authors

Galina V. Tlyavlina,
Cand. Sci. (Eng.), Head of the Laboratory of Modeling, Calculations and Standardization in Hydraulic Engineering, Joint Stock Company Central Research Institute of Transport Construction, R&D Centre “Morskie berega”, 1, Yana Fabritciusa St., Sochi 354002, Russia,
Doctoral Student of Bridge and Tonnels Department,
Russian University of Transport (MIIT),
9 House, 9 Bldg. Obraztsova St., Moscow 127994, GSP-4, Russia,
✉e-mail: TlyavlinaGV@Tsniis.com
https://orcid.org/0000-0003-4083-9014
Author ID: 604630

Roman M. Tlyavlin,
Cand. Sci. (Eng.), Head of the R&D Centre «Morskie berega», Joint Stock Company Central Research Institute of Transport Construction,
1, Yana Fabritciusa St., Sochi 354002, Russia,
e-mail: TlyavlinRM@Tsniis.com
https://orcid.org/0000-0002-8648-0492
Author ID: 123325

Galina A. Emelianova,
Dr. Sci. (Eng.), Professor of Bridge and Tonnels Department,
Russian University of Transport (MIIT),
9 House, 9 Bldg., Obraztsova St., Moscow 127994, GSP-4, Russia,
e-mail: ga_emel@mail.ru
https://orcid.org/0009-0006-0696-1592
Author ID: 318381

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.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 09.01.2025.
Одобрена после рецензирования 30.01.2025.
Принята к публикации 31.01.2025.

Information about the article

The article was submitted 09.01.2025.
Approved after reviewing 30.01.2025.
Accepted for publication 31.01.2025.

Научная статья
УДК 626.01
EDN: CJYNYJ
DOI: 10.21285/2227-2917-2025-2-301-310

Управление данными информационной модели гидротехнических сооружений на этапе проектирования

Р.Ю. Чадов[1]✉, А.В. Пешков[2], В.А. Кудрявцева[3]
[1,2,3]Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Аннотация. Строительная отрасль является одной из ключевых в развитии российской экономики. В связи с этим многие российские компании стараются активно внедрить в свою деятельность современные информационно-технические разработки. Для этого каждой организации необходимо разработать стратегию рационального управления данными. Целью данной работы является рассмотрение современных методов управления данными информационной модели гидротехнического объекта капитального строительства на этапе проектирования на примере хвостохранилища. Современным методом управления данными является создание единой информационной модели строящегося объекта. В свою очередь информационная модель в режиме реального времени передает актуальное состояние этого объекта. Для создания информационной модели используют различные программные продукты. В статье рассмотрено проектирование хвостохранилищ намывного типа из нескольких коридоров, включающих в себя создание пионерной ограждающей дамбы и дамб обвалования. Все гидротехнические сооружения подразделяют на две группы, а именно гражданские и промышленные. Хвостохранилище относится к промышленным гидротехническим сооружениям. Для проектирования гидротехнического сооружения был выбран наиболее удобный и простой в понимании программный продукт, а именно AutoCAD Civil 3D. Этапы создания информационной модели включают в себя проложение трассы оси гребня дамбы, построение продольного профиля дамб, создание конструкции поперечного сечения дамбы, созданию коридоров дамб обвалования. В результате была получена объемная информационная модель хвостохранилища.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, хвостохранилище, управление данными, информационная модель, BIM-модель, AutoCAD Civil 3D

***Для цитирования*:** Чадов Р.Ю., Пешков А.В., Кудрявцева В.А. Управление данными информационной модели гидротехнических сооружений на этапе проектирования // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 2. С. 301–310. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-301-310. EDN: CJYNYJ.

Original article

Data management of the information model of hydraulic structures at the design stage

Roman Yu. Chadov[1]✉, Artem V. Peshkov[2], Vera A. Kudryavtseva[3]
[1,2,3]Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The construction industry is one of the key sectors in the development of the Russian economy. In this regard, many Russian companies are trying to actively introduce modern information technology developments into their activities. To do this, each organization needs to develop a strategy for rational data management. The purpose of this work is to review modern data management methods for an information model of a hydraulic engineering facility under capital construction at the design stage using the example of a tailings storage facility. A modern method of data management is to create a unified information model of an object under construction. In turn, the information model transmits the current state of this object in real time. Various software products are used to create an information model. The

© Чадов Р.Ю., Пешков А.В., Кудрявцева В.А., 2025

article considers the design of alluvial type tailings dams from several corridors, including the creation of a pioneer enclosing dam and landslide dams. All hydraulic structures are divided into two groups, namely civil and industrial. A tailings dump belongs to industrial hydraulic structures. The most convenient and easy-to-understand software product, namely AutoCAD Civil 3D, was selected for the design of the hydraulic structure. The stages of creating an information model include laying the route of the axis of the crest of the dam, building the longitudinal profile of the dams, creating a cross-sectional structure of the dam, creating corridors of dams. As a result, a three-dimensional information model of the tailings storage facility was obtained.

Keywords: hydraulic structures, tailing dumps, data management, information model, BIM model, AutoCAD Civil 3D

For citation: Chadov R.Yu., Peshkov A.V., Kudryavtseva V.A. Data management of the information model of hydraulic structures at the design stage. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2025;15(2):301-310. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-301-310. EDN: CJYNYJ.

ВВЕДЕНИЕ

Гидротехнические сооружения – сложные инженерные сооружения, предназначенные для управления и организованного контроля водных ресурсов.

Строительство гидротехнических сооружений необходимо для предотвращения размыва территорий, выработки электроэнергии, накопления воды в засушливых районах в прудах-накопителях, санкционированного отвода сточных вод нагорными и водосборными каналами, сбора поверхностных сточных карьерных и подотвальных вод, сбор продуктов обогащения (пульпа) на горно-обогатительных комбинатах и отвод их через систему гидротранспорта (пульпопроводы) в хвостохранилище, возврат из прудка оборотной воды через водоводы обратно на производство.

К гидротехническим сооружениям относят плотины, дамбы, берегоукрепительные сооружения, паводковые водосбросы, водоспуски и водовыпуски, водоприемники и водозаборные сооружения, пруды-отстойники, нагорные, водосборные и руслоотводные каналы.

Проектирование, строительство и реконструкция гидротехнических сооружений в России занимает важное место в экономике страны. На данный момент многие эксплуатируемые гидротехнические сооружения, которые были построены во времена СССР, начинают приходить в негодность и требуют реконструкции.

При разработке проектной документации по реконструкции гидротехнических сооружений возникают такие сложности, как:

– проектная и рабочая документация на введенные в эксплуатацию объекты полностью или частично отсутствует;

– проектная и рабочая документация находится только на бумажных носителях;

– ограниченная или устаревшая информация о конструкциях в паспортах объектов;

– ограниченное количество высококвалифицированных проектировщиков-гидротехников, работающих в системе автоматизированного проектирования.

Для решения и предупреждения возникших проблем необходима цифровизация всей информации, в том числе создание информационной модели. Проектирование и строительство гидротехнических объектов представляет собой сложный процесс, который может затянуться на несколько лет. На этапе проектирования гидротехнических сооружений возникает множество проблем, связанных с обменом и передачей большого объема информации между множеством специалистов, что легко может привести даже к незначительным ошибкам на чертежах, которые в свою очередь могут быть обнаружены только в процессе строительства объекта, что в итоге приводит к изменению сроков строительства. Стоит отметить, что во время проектирования возникают такие неудобства, как бумажный документооборот, большое число согласований между сторонами проекта, что приводит к значительным затратам рабочего времени и к увеличению времени работы над определенным проектом [1].

Управление данными – сбор, обработка и систематизация всех необходимых данных для повышения эффективности того или иного производственного процесса. Если учесть, что данные играют ключевую роль в экономике, то для любой организации необходимо разработать стратегию рационального управления данными. Актуальность изучения вопроса эффективного управления данными объекта капитального строительства заключается в том, что в стремительно изменяющемся мире и в быстротечном ритме жизни любая организация

ставит перед собой следующие цели и задачи – сдать объект в эксплуатацию в короткие сроки (минимизировать срок жизненного цикла проекта) с наименьшими денежными непредвиденными расходами, которые не были предусмотрены проектно-сметной документацией [2]. Для этого компании необходимо выстроить эффективную систему управления информацией. Цель статьи заключается в том, чтобы рассмотреть современные методы управления данными информационной модели объекта капитального строительства на этапе проектирования. Стремительная цифровизация жизни, разнообразие и большое количество различных конструктивных элементов объекта строительства в одном проекте привело к созданию единой информационной модели строящегося объекта, которая отражает в режиме реального времени его актуальное состояние на всех этапах жизненного цикла. Единая информационная модель представляет собой сформированную иерархию систематизированных данных об объекте и различные уровни доступа к этим данным. К примеру, на стадии проектирования одновременный доступ и возможность параллельно работать над проектом, изменяя его в процессе своей работы, имеют сразу множество специалистов по разным разделам рабочей документации [3]. Таким образом, создание единой информационной модели дает возможность контролировать состояние объекта проектирования от и до в режиме виртуальной реальности [4].

МЕТОДЫ

Для оптимизации управления данными в современном мире на стадии проекта многие российские компании стали внедрять систему автоматизации проектирования [5]. К одной из таких систем относится технология информационного моделирования. Основа информационного моделирования – BIM-модель, которая создается на этапе проектирования [6]. Слово BIM является аббревиатурой английского Building Information Modeling. BIM – это подход к управлению объектом на протяжении всего его жизненного цикла, в основе которого лежит оптимизация и стандартизация процессов сбора, обработки и управления данными объекта строительства [7–11]. На основе этой модели происходит взаимодействие между собой всех участников инвестиционного проекта (заказчика, проектировщиков, подрядных организаций и эксплуатирующей организации) [12]. BIM-технологии позволяют объединить различные программные продукты и инструменты, что позволяет визуализировать будущий объект еще на этапе проектирования и учесть всевозможные непредвидимые случаи на этапе строительства [13–16]. Существуют различные программные продукты, с помощью которых можно воспользоваться существующими возможностями BIM-проектирования: Allplan Architecture, ArchiCAD, Revit, CIVIL 3D, BIM WIZARD, BIMx, Renga, nanoCAD GeoniCS [17]. Стоит отметить, что Renga является отечественной системой автоматизированного проектирования зданий в системе BIM-решений. Ниже представлены BIM-модели гидротехнических объектов в некоторых программных комплексах (рис. 1, 3).

На рис. 2 представлены водосборный канал и пруд-отстойник на плоскости в модели. На рис. 3 данные гидротехнические сооружения уже представлены в объемном пространстве с использованием инструментов BIM-проектирования.

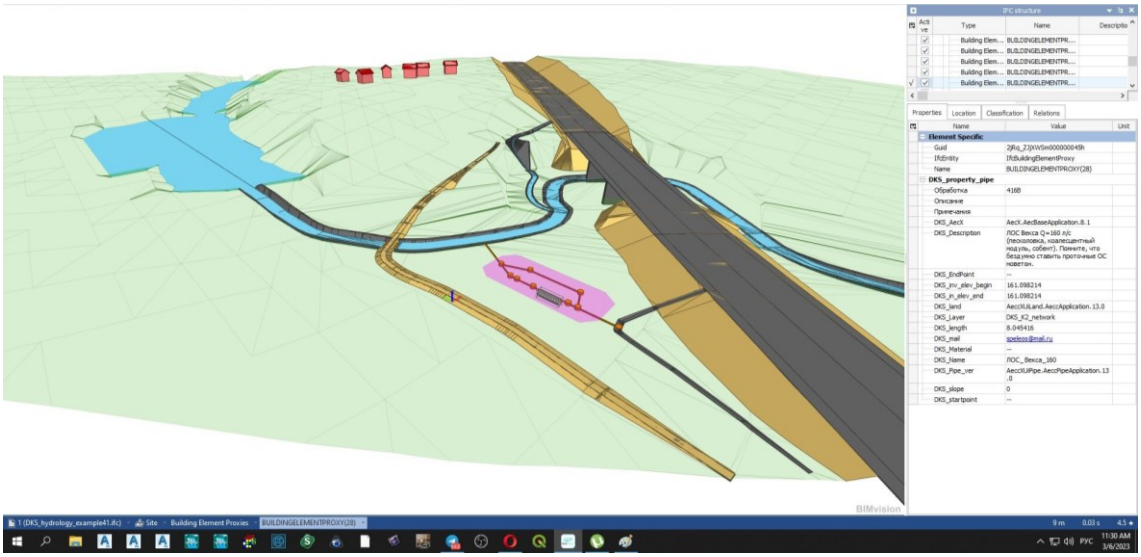


Рис. 1. BIM-модель гидротехнического сооружения в программном продукте nanoCAD GeoniCS
Fig. 1. BIM model of a hydraulic structure in the nanoCAD GeoniCS software package

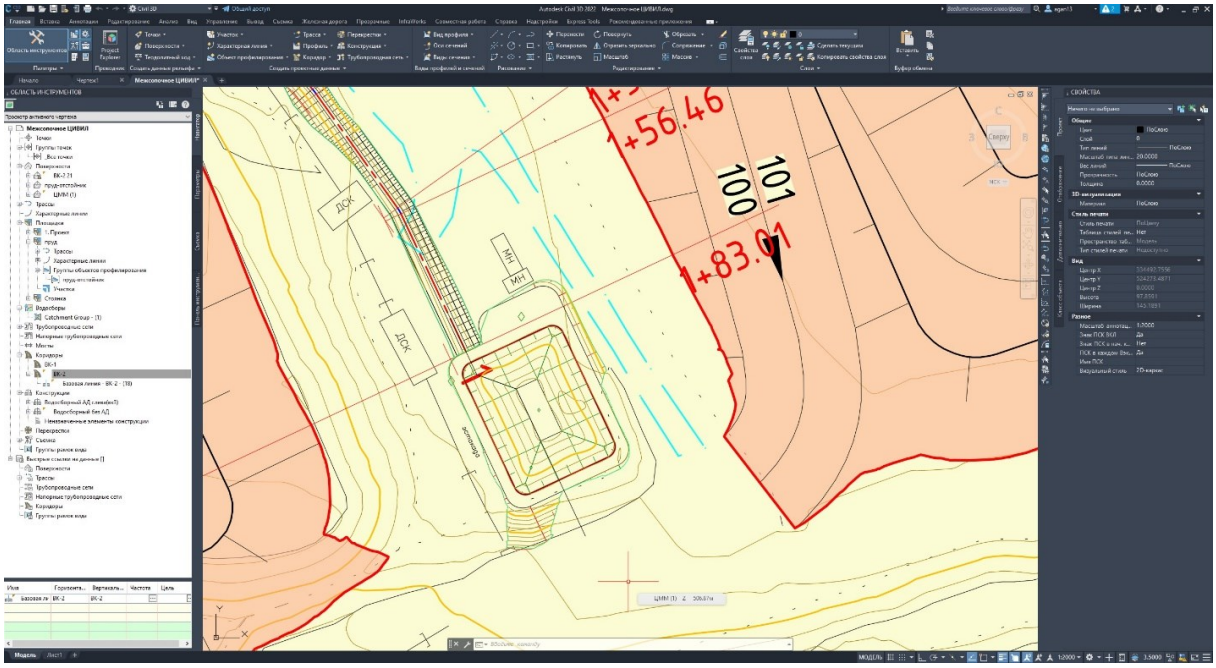


Рис. 2. План гидротехнических объектов на рельефе в программном комплексе CIVIL 3D
Fig. 2. Plan of hydraulic structures on the relief in the CIVIL 3D software package

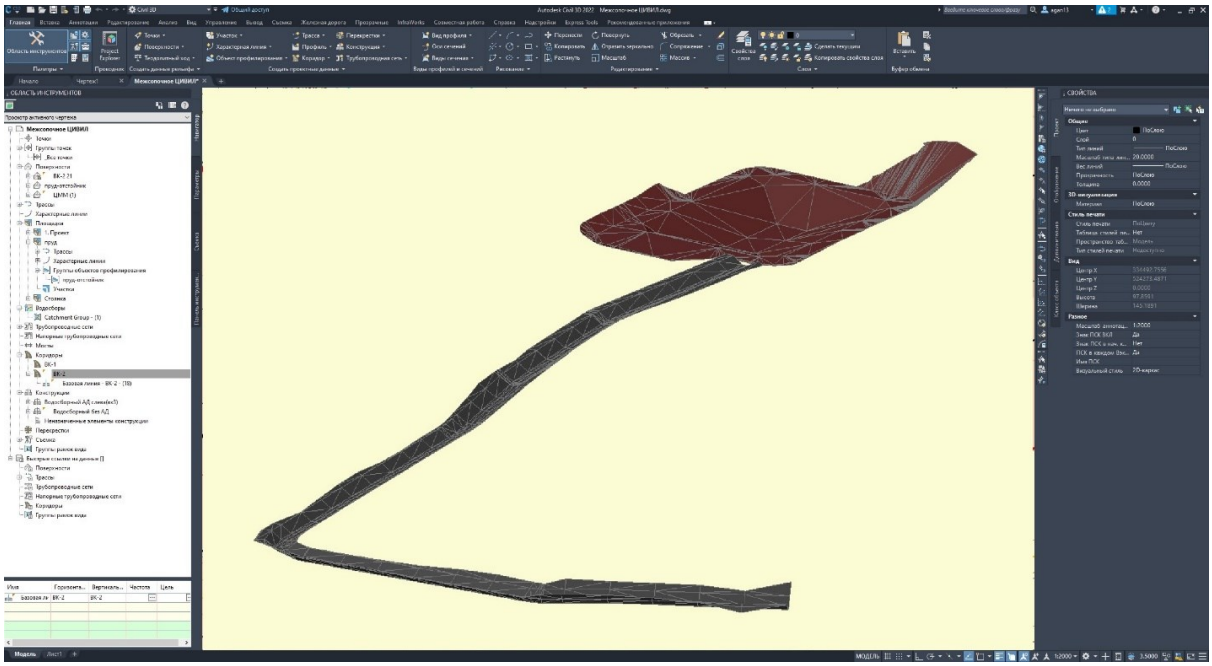


Рис. 3. BIM-модель водосборного канала и пруда-отстойника в программном комплексе CIVIL 3D
Fig. 3. BIM model of a drainage channel and a settling pond in the CIVIL 3D software package

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрим подробнее проектирование гидротехнического сооружения в программе AutoCAD Civil 3D на примере проектирования объекта хвостового хозяйства – хвостохранилища на месторождении Боголюб. восты флотации образуются при переработке руды. Отходы на месторождении Боголюб относятся к пятому классу опасности. Для размещения отходов переработки (хвостов) флотации на протяжении всего срока отработки запасов необходимо запланировать устройство хвостохранилища. В начале проектирования необходимо проанализировать и обработать данные геологических и геодезических изысканий. Необходимо изучить цифровую модель грунтов, гео-

логический разрез и колонки грунтов, карту гидроизогипсов для анализа нахождения грунтовых вод, границы залегания торфа и других слабых грунтов, непригодных для строительства гидротехнического сооружения (ГТС). Также требуется выявить экономически выгодное положение проектируемых объектов для заказчика [18]. На месторождении Боголюб было решено создать хвостохранилище намывного типа из 11 коридоров.

Первый коридор – пионерная ограждающая дамба, а второй и последующие коридоры – дамбы обвалования, устраиваемые на намытые пески. Исходные данные для проектирования – это информационная модель поверхности или цифровая модель местности, построенная по точкам и изолиниям геодезических изысканий. Из отчета необходимо скопировать горизонтали и вставить их в рабочую модель программного обеспечения Civil 3D с актуальными координатами для создания поверхности. Далее для создания линейного объекта, к которому и относится хвостохранилище, необходимо проложить трассу оси гребня дамбы. Для этого необходимо использовать несколько команд, а именно в меню «Трасса» выбрать пункт «Инструменты создания трасс» и задать имя. После этого включаем параметр «Использовать набор проверок проекта» и выбираем пункт «Основные».

В открытой панели инструментов «Инструменты компоновки трассы» выбираем пункт «Прямой участок – Прямой участок (с кривыми)» (рис. 4).

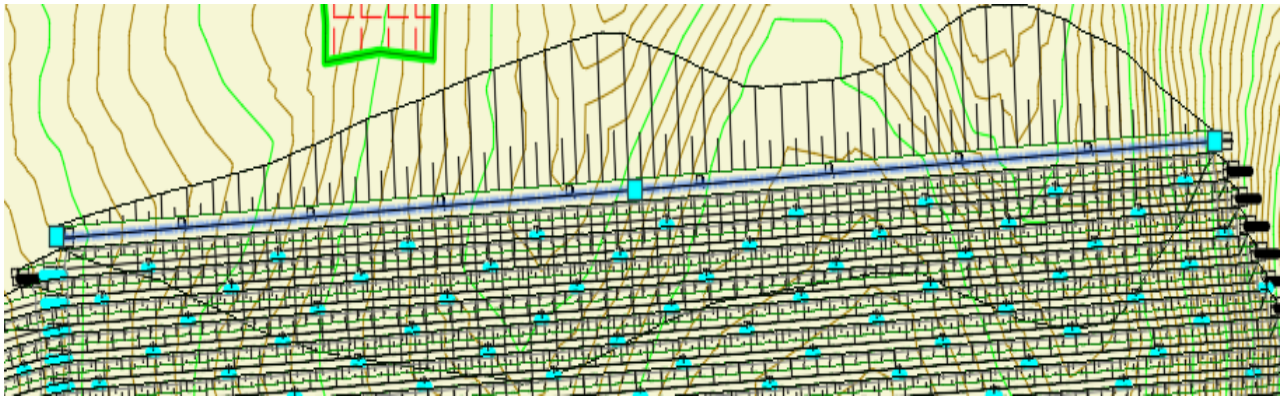


Рис. 4. Трасса оси гребня дамбы
Fig. 4. The route of the dam crest axis

Теперь необходимо построить продольный профиль. Необходимо создать вид профиля. Для этого в меню «Профиль» нужно выбрать пункт «Создать профиль поверхности». В окне выбираем необходимую трассу. Далее выбираем пункт «Создать вид профиля» и указываем его положение на чертеже.

Для создания проектного продольного профиля левой клавишей мыши нужно выбрать вид профиля и затем нажать «Инструменты создания профилей». В открывшемся окне «Создание профиля – вычертить новый» задаем имя профиля (рис. 5).

Следующим шагом является создание конструкции поперечного сечения дамбы. Геометрия дамбы, проверенная в программном комплексе GEO5 на устойчивость, где все принятые размеры, заложения откосов, высота дамбы, грунты основания подтвердили, что данная дамба является устойчивой. Поэтому в AutoCAD Civil 3D необходимо внести данные конструкции с уже известными геометрическими размерами. Стоит отметить, что гребень дамбы, верховой и низовой откосы созданы из звеньев (рис. 6). После ранее созданных трассы оси гребня дамбы, ее продольного профиля, конструкции приступаем к созданию коридоров дамб обвалования. В всплывающем окне выбираем ранее спроектированные объекты и создаем коридоры по очереди (рис. 7, 8). В результате сформировалась объемная конструкция хвостохранилища, состоящая из 12 коридоров. После этого на основании коридоров пионерной дамб и дамб обвалования создаем поверхность для подсчета объемов и площадей работ (рис. 9). После вычисления объемов возникла необходимость изменить горизонтальную геометрию пионерной дамбы. За счет динамической трехмерной модели AutoCAD Civil 3D перестроение созданных объектов почти полностью выполнялась в автоматическом режиме. Вслед за изменением продольного профиля ограждающей дамбы был автоматически перестроен ее коридор и обновлена поверхность. Единственным изменением, которое требовалось внести вручную, оказалась корректировка трассы пионерной дамбы. После изменения трассы программа самостоятельно перестроила коридор и обновила поверхность пионерной дамбы.

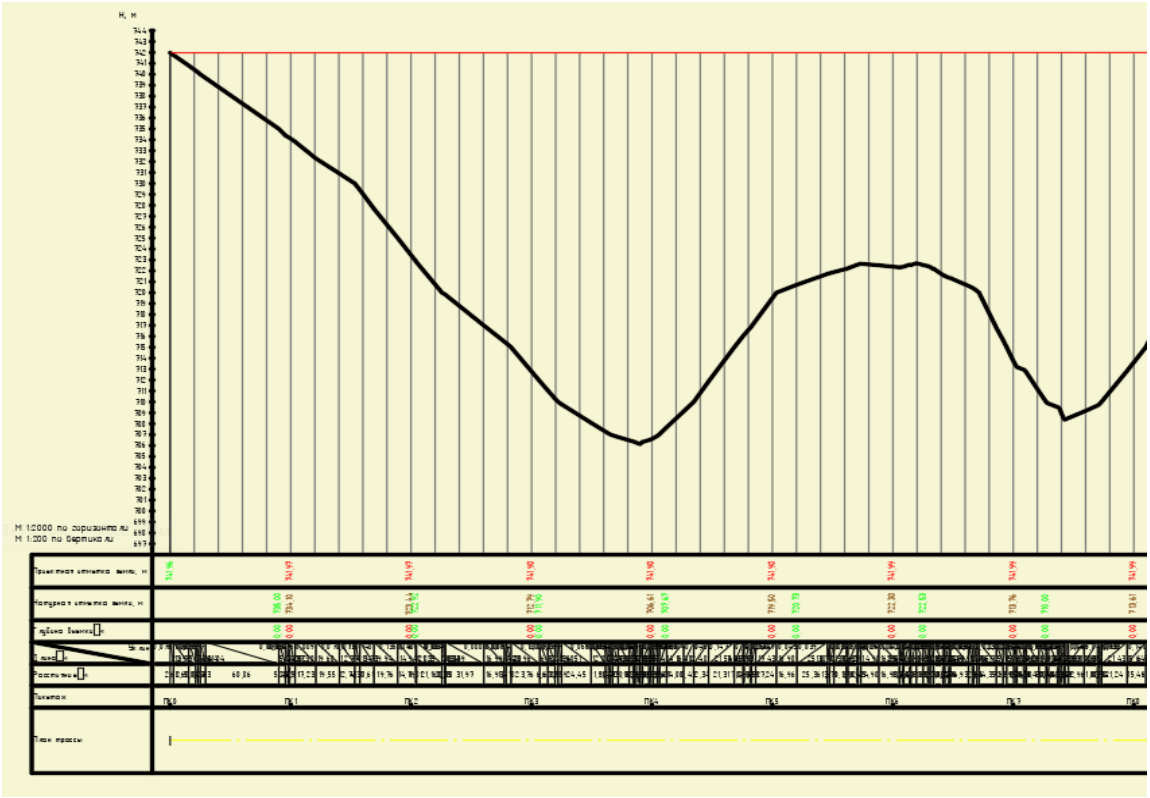


Рис. 5. Продольный профиль трассы
Fig. 5. Longitudinal profile of the route

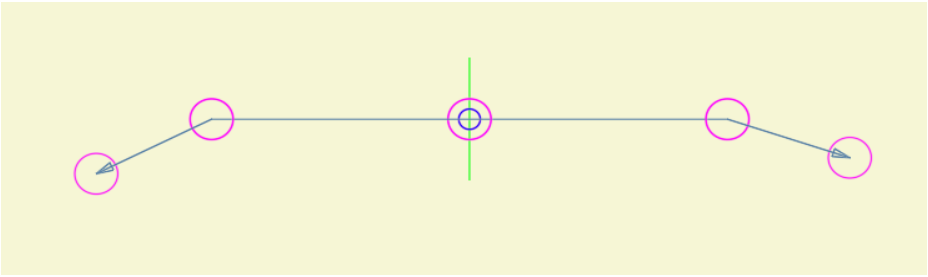


Рис. 6. Конструкция пионерной дамбы
Fig. 6. Construction of the pioneer dam

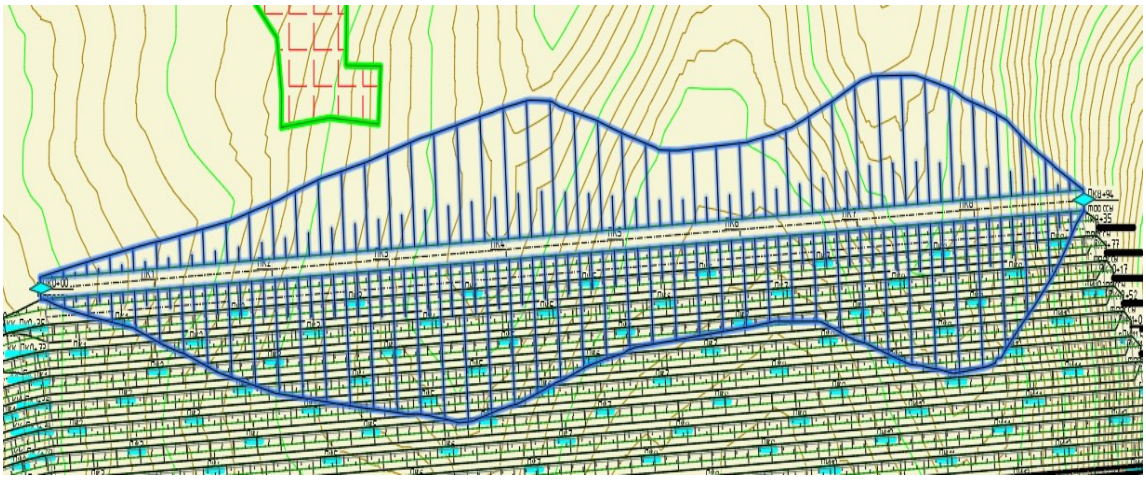


Рис. 7. Коридор пионерной дамбы
Fig. 7. Pioneer Dam Corridor

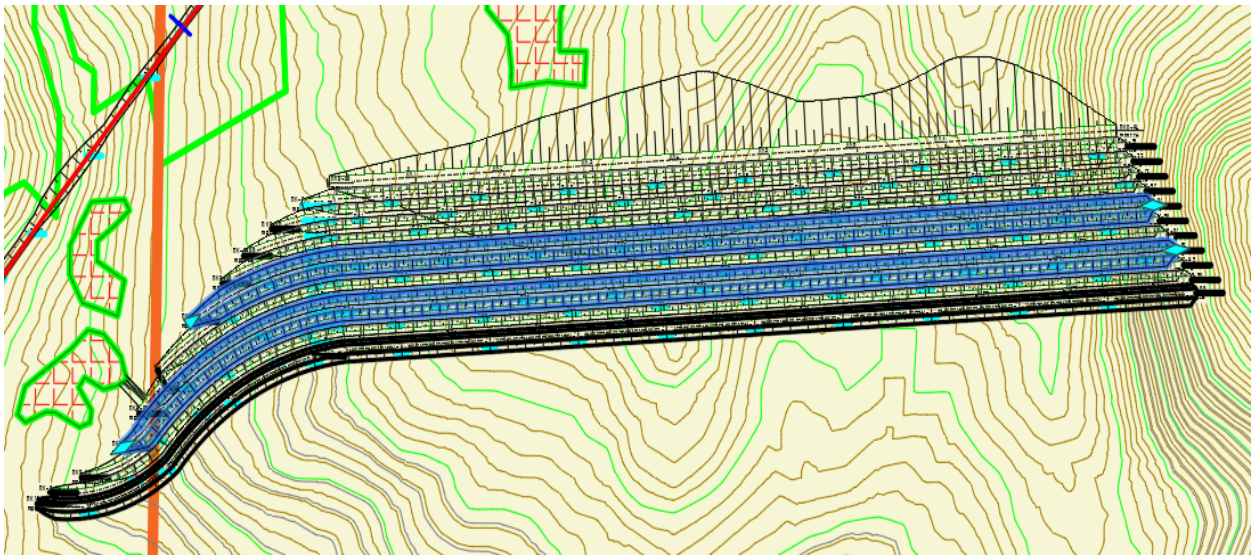


Рис. 8. Коридоры дамб обвалования
Fig. 8. Corridors of embankment dams

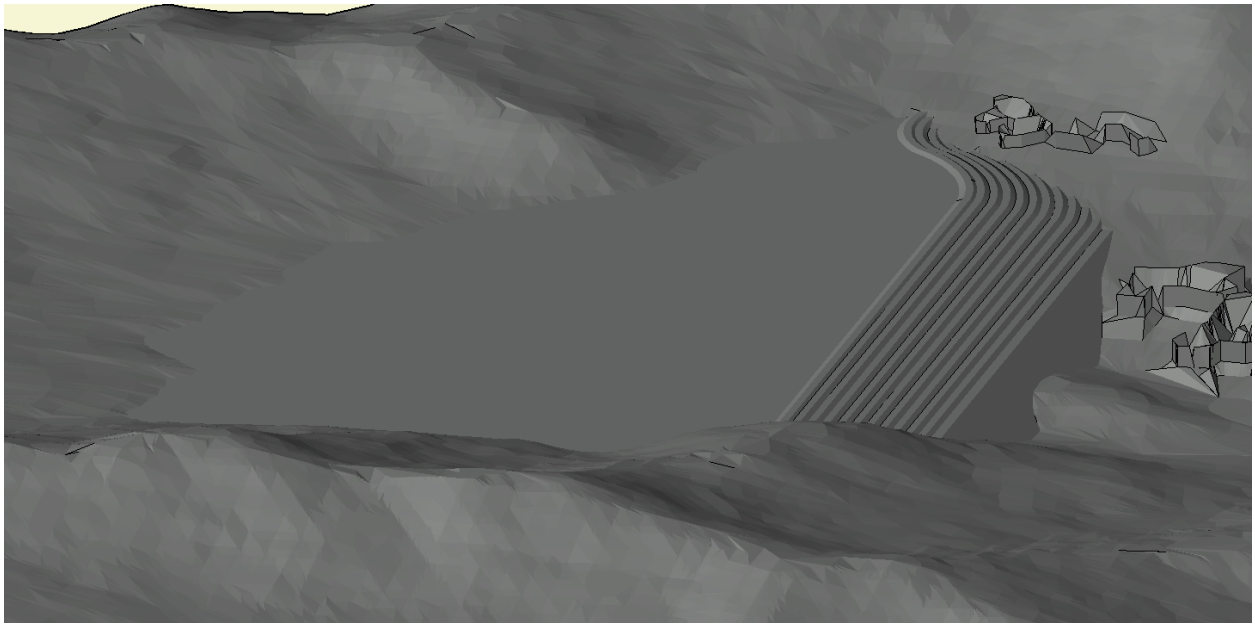


Рис. 9. Общий вид совместной поверхность хвостохранилища с рельефом
Fig. 9. General view of the joint surface of the tailings storage facility with relief

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение можно с уверенность сказать, что за технологиями информационного моделирования стоит будущее строительной отрасли. Внедрение BIM-технологий необходимо в проектировании гидротехнических сооружений гражданского применения в виду сложности и многоэтапности разработки проектных решений по этим объектам. А в проектировании промышленных гидротехнических сооружений очень трудоемко и трудозатратно для компаний разработка и внедрения BIM-технологий, потому что промышленные ГТС в большей степени представляют собой земляные сооружения. Хотя проектировщикам-гидротехникам было бы легче и быстрее выдавать проектную документацию, применяя все преимущества BIM-технологий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Выставкина Е.В. Назначение гидротехнических сооружений // Colloquium-Journal. 2022. № 9-1. С. 37–39. EDN: JYCGXI.

2. Белкин П.В., Степенко Н.В., Чубатов И.В. Опыт применения технологии BIM при проектировании ГЭС // Гидротехника. 2019. № 1 (54). С. 21–23. EDN: RIOVDT.
3. Вирцев М.Ю., Власова А.Ю. BIM-технологии – принципиально новый подход в проектировании зданий и сооружений // Российское предпринимательство. 2017. Т. 18. № 23. С. 3827–3836. EDN: YQYRKP.
4. Курило Е.Ю., Нижегородцев Д.В. Технологии информационного моделирования при проектировании гидротехнических сооружений // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 4 (81). С. 54–57. https://doi.org/10.23968/1999-5571-2020-17-4-54-57. EDN: CQDJGZ.
5. 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: JVYJYQ.
6. Борисова Л.А., Абидов М.Х. Проблемы цифровизации строительной отрасли // УЭПС: управление, экономика, политика, социология. 2019. № 3. С. 53–58. https://doi.org/10.24411/2412-2025-2019-00041. EDN: KKBLFY.
7. Гевара Рада Л.Т., Пешков В.В., Мартьянов 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.
8. Король М.Г. BIM: информационное моделирование – цифровой век строительной отрасли // Строй-Металл. 2014. № 9. С. 26–30.
9. Вилисова А.Д. Совершенствование управления строительным проектированием на базе облачных технологий в условиях цифровизации экономики // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2021. № 3 (37). С. 5–9. https://doi.org/10.52684/2312-3702-2021-37-3-5-9. EDN: NVKLWA.
10. Васильева Н.В., Бачуринская И.А. Проблемные аспекты цифровизации строительной отрасли // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2018. № 7. С. 39–46. EDN: YUDSQP.
11. Parusheva S. Digitalization and Digital Transformation – Benefits and Challenges // International Conference: Information and Communication Technologies in Business and Education. Conference Proceedings. Varna: Science and economics, 2019. P. 126–134.
12. Волкова А.А., Плотников В.А., Рукинов М.В. Цифровая экономика: сущность явления, проблемы и риски формирования и развития // Управленческое консультирование. 2019. № 4 (124). С. 38–49. https://doi.org/10.22394/1726-1139-2019-4-38-49. EDN: RPOCAD.
13. Eleftheriadis S., Mumovic D., Greening P. Life Cycle Energy Efficiency in Building Structures: A Review of Current Developments and Future Out Looks Based On BIM Capabilities // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. Vol. 67. P. 811–825. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.028.
14. Atanasova T. Main Factors Influencing Digitization in Construction Companies // International Conference: Information and Communication Technologies in Business and Education. Conference Proceedings. Varna: Science and economics, 2019. P. 116–125.
15. Милкина Ю.А., Макарова Е.Е. Внедрение современных информационных технологий в строительную отрасль // Организатор производства. 2021. Т. 29. № 3. С. 101–110. https://doi.org/10.36622/VSTU.2021.66.40.010. EDN: FGCCDR.
16. Милкина Ю.А., Макарова Е.Е. Цифровые технологии как антиципативный компонент антикризисного менеджмента в управлении недвижимостью // Наука Красноярья. 2020. Т. 9. № 2. С. 151–165. EDN: HRTWRG.
17. Ливанова Е.А. BIM-проектирование гидротехнических сооружений с помощью программных комплексов линейки nanoCAD // Гидротехника. 2023. № 1 (70). С. 54–58. https://doi.org/10.55326/22278400_2023_1_54. EDN: RNSYHC.
18. Лобанова Т.А., Грибов П.А. Стадии проектирования гидротехнических сооружений // Научный журнал. 2017. № 4 (17). С. 29–30. EDN: YKVWTD.

REFERENCES

1. Vystavkina E.V. The Role of Hydraulic Systems. *Colloquium-Journal.* 2022;9-1:37-39. (In Russ.). EDN: JYCGXI.
2. Belkin P.V., Stepenko N.V., Chubatov I.V. BIM Technology Application in The Design of HPPS. *The Hydrotechnika.* 2019;1(54):21-23. (In Russ.). EDN: RIOVDT.
3. Virtsev M.Yu., Vlasova A.Yu. BIM-Technology Is a Fundamentally New Approach in Design of Buildings and Structures. *Russian Journal of Entrepreneurship.* 2017;18(23):3827-3836. (In Russ.). EDN: YQYRKP.
4. Kurilo E.Yu., Nizhegorodtsev D.V. Information Modeling Technologies at Design of Hydraulic Facilities. *Bulletin of Civil Engineers.* 2020;4(81):54-57. (In Russ.). https://doi.org/10.23968/1999-5571-2020-17-4-54-57. EDN: CQDJGZ.

5. 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: JVYJYQ.
6. Borisova L.A., Abidov M.H. Problems of Digitalization of the Construction Industry. *UEPS: upravlenie, ekonomika, politika, sotsiologiya.* 2019;3:53-58. (In Russ.). https://doi.org/10.24411/2412-2025-2019-00041. EDN: KKBLFY.
7. Guevara Rada L.T., Peshkov V.V., Mart'yanov V.I., Radionova E.A., Buzheeva F.G., Saibatalova E.V. Building Information Modelling (BIM) Technology 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.
8. Korol' M.G. BIM: Information Modeling – The Digital Age of the Construction Industry. *StroiMetall.* 2014;9:26-30. (In Russ.).
9. Vilisova A.D. Improving Construction Design Management Based On Cloud Technologies in The Context of Economy Digitalization. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region.* 2021;3(37):5-9. (In Russ.). https://doi.org/10.52684/2312-3702-2021-37-3-5-9. EDN: NVKLWA.
10. Vasil'eva N.V., Bachurinskaya I.A. Problematic aspects of digitalization of the construction industry. *Vestnik Altaiskoi akademii ekonomiki i prava.* 2018;7:39-46. (In Russ.). EDN: YUDSQP.
11. Parusheva S. Digitalization and Digital Transformation – Benefits and Challenges. In: *International Conference: Information and Communication Technologies in Business and Education. Conference Proceedings.* Varna: Science and economics, 2019. P. 126–134.
12. Volkova A.A., Plotnikov V.A., Rukinov M.V. Digital Economy: Essence of The Phenomenon, Problem and Risks of Formation and Development. *Administrative Consulting.* 2019;4(124):38-49. (In Russ.). https://doi.org/10.22394/1726-1139-2019-4-38-49. EDN: RPOCAD.
13. Eleftheriadis S., Mumovic D., Greening P. Life Cycle Energy Efficiency in Building Structures: A Review of Current Developments and Future Out Looks Based On BIM Capabilities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2017;67:811-825. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.028.
14. Atanasova T. Main Factors Influencing Digitization in Construction Companies. In: *International Conference: Information and Communication Technologies in Business and Education. Conference Proceedings.* Varna: Science and economics, 2019. P. 116–125.
15. Milkina Yu.A., Makarova E.E. Introduction of Modern Information Technologies in The Construction Industry. *Organizer of Production.* 2021;29(3):101-110. (In Russ.). https://doi.org/10.36622/VSTU.2021.66.40.010. EDN: FGCCDR.
16. Milkina Yu.A., Makarova E.E. Digital Technologies as an Anti-Crisis Management Component in Real Estate Management. *Krasnoyarsk Science.* 2020;9(2):151-165. (In Russ.). EDN: HRTWRG.
17. Livanova E.A. BIM-Design of Hydraulic Structures Using Software Complexes of nanoCAD Line. *Hydrotechnika.* 2023;1(70):54-58. (In Russ.). https://doi.org/10.55326/22278400_2023_1_54. EDN: RNSYHC.
18. Lobanova T.A., Gribov P.A. Stages of Designing Hydraulic Structures. *Nauchnyi zhurnal*. 2017;4(17):29-30. (In Russ.). EDN: YKVWTD.

Информация об авторах

Чадов Роман Юрьевич,
ведущий инженер гидротехнического отдела,
ООО «РАМ Инжиниринг»,
121096, г. Москва, ул. Василисы Кожиной, 1,
Россия,
✉e-mail: 9834170284@mail.ru
https://orcid.org/0009-0001-7112-8840

Пешков Артем Витальевич,
к.э.н., доцент, инженер НИЧ,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: artempeshkov@rambler.ru
https://orcid.org/0000-0002-5027-5120
Author ID: 670943

Information about the authors

Roman Yu. Chadov,
Leading Engineer of the Hydraulic Engineering Department,
RAM Engineering LLC,
1 Vasilisa Kozhina St., Moscow 121096, Russia,
✉e-mail: 9834170284@mail.ru
https://orcid.org/0009-0001-7112-8840

Artem V. Peshkov,
Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor,
Engineer Scientific and Research Part,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: artempeshkov@rambler.ru
https://orcid.org/0000-0002-5027-5120
Author ID: 670943

Кудрявцева Вера Александровна,
к.э.н., доцент,
доцент кафедры экспертизы и управления недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: kudravera@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-0071-6602
Author ID: 1027497

Vera A. Kudryavtseva,
Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Real Estate Expertise and Management,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: kudravera@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-0071-6602
Author ID: 1027497

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 27.02.2025.
Одобрена после рецензирования 10.03.2025.
Принята к публикации 14.03.2025.

Information about the article

The article was submitted 27.02.2025.
Approved after reviewing 10.03.2025.
Accepted for publication 14.03.2025.

Научная статья
УДК 69.059
EDN: KNGSLD
DOI: 10.21285/2227-2917-2025-2-311-319

Профориентация как инструмент кадрового обеспечения деятельности в сфере эксплуатации зданий, строений, сооружений

Л.Н. Чернышов[1]✉, Л.Ф. Смолина[2], А.Г. Калгушкин[3]
[1,2,3]Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, России

Аннотация. В статье исследуются инструменты, с помощью которых можно снизить дефицит кадров в сфере эксплуатации объектов недвижимости в городском хозяйстве. Отдельно учитываются действия института профессиональной ориентации граждан. Представлены не только причины возникновения дефицита кадров на рынке труда, но и те профессии, где отмечается сильный кадровый «голод»: квалифицированные рабочие, работники среднего звена, специалисты с высшим образованием на современном этапе развития экономики. Обоснована несостоятельность утверждения о престижности профессий в сфере жилищно-коммунального хозяйства, представлен многоотраслевой характер деятельности как производная от эксплуатации зданий строений, сооружений. Дана характеристика и методы профориентационной работы с детьми, школьниками, студентами и взрослыми как одно из приоритетных направлений государственной политики. В статье представлены лучшие практики профориентационной работы – федеральные и региональные проекты и мероприятия, которые в современных условиях способствуют ликвидации кадрового дефицита работников, осуществляющих эксплуатацию объектов недвижимости в городском хозяйстве. В статье авторы ставят задачи, касающиеся перспектив развития профориентационной работы на ближайшую перспективу перед профессиональным сообществом с учетом технологического, глобального и социального вызовов.

Ключевые слова: эксплуатация зданий, строений, сооружений, квалифицированные рабочие, служащие, инженеры, школьники, студенты, профориентационные и конкурсные мероприятия, рынок труда, особенности личности и индивидуальные потребности

Для цитирования: Чернышов Л.Н., Смолина Л.Ф., Калгушкин А.Г. Профориентация как инструмент кадрового обеспечения деятельности в сфере эксплуатации зданий, строений, сооружений // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 2 С. 311–319. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-311-319. EDN: KNGSLD.

Original article

Vocational guidance as a tool for staffing support in building maintenance

Leonid N. Chernyshov[1]✉, Lidiya F. Smolina[2], Alexey G. Kalgushkin[3]
[1,2,3]National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Abstract. This paper investigates approaches to mitigating staff shortage in maintenance of real estate properties of the urban economy. The role of the institute for vocational guidance of citizens is considered. Reasons for staff shortage on the labor market are discussed, including in the fields of the severely afflicted professions, including qualified workers, middle-ranking workers, and high university degree specialists corresponding to the present stage of economic development. The statement about the prestige of professions in the sphere of housing and communal services is proved to be unreasonable. The multidisciplinary nature of such an activity as derived from the use of buildings is discussed. The methods of vocational guidance to children, pupils, students, and adults as one of the priority areas of state policy are characterized. Best practices of vocational guidance, i.e., federal and regional projects and events contributing to the elimination of current staff shortage of workers in maintenance of real estate properties

© Чернышов Л.Н., Смолина Л.Ф., Калгушкин А.Г., 2025

of the urban economy, are presented. In this paper, the authors set tasks for the professional community concerning prospects for the upcoming development of vocational guidance taking into account the technological, global, and social challenges.

Keywords: operation of buildings, structures, facilities, skilled workers, employees, engineers, schoolchildren, students, career guidance and competitive events, labor market, personality traits and individual needs

For citation: Chernyshov L.N., Smolina L.F., Kalgushkin A.G. Vocational guidance as a tool for staffing support in building maintenance. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2025;15(2):311-319. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-311-319. EDN: KNGSLD.

ВВЕДЕНИЕ

Активная (творческая) жизнь человека делится на два этапа: период взросления и учебы, и следующий за ним период работы в выбранной области деятельности. Таким образом, выбор профессии – это важное решение, во многом определяющее карьеру и будущее человека на долгие годы, что имеет непосредственное влияние не только на уровень его финансового благополучия, но и на степень удовлетворенности профессиональной деятельностью и личное счастье. Говоря о выборе профессии в жилищно-коммунальном хозяйстве (ЖКХ), следует учесть, что данное понятие утвердилась в общественном сознании и терминологии в советский период, когда оно представляло собой многоотраслевую сферу деятельности, не имеющую законодательного закрепления, которая объединяла виды деятельности в городском хозяйстве, различающиеся по формам и методам финансово-экономического, инженерно-технического и организационно-правового регулирования. Важным элементом современного этапа развития ЖКХ является понимание того, что содержательная составляющая этого термина – производная составляющая от деятельности по эксплуатации зданий, строений, сооружений, их инженерных систем и оборудования.

Область деятельности по эксплуатации объектов недвижимости требует технических специалистов различного уровня подготовки, которая достигается путем обучения в соответствии с образовательными программами в учреждениях среднего профессионального и высшего, а также дополнительного образования [1–10].

МЕТОДЫ

Сегодня дефицит специалистов по эксплуатации объектов недвижимости, расположенных в муниципальных образования, находящихся на удалении от крупных агломераций, достиг критических значений и начинает оказывать негативное влияние на безопасность целевого функционирования объектов недвижимости. Этому способствует демографическая ситуация, связанная со снижением рождаемости и увеличением уровня смертности, миграция населения, уменьшение числа мигрантов, а также неуправляемым «бум» высшего образования, произошедший в последние десятилетия на фоне игнорирования ключевого закона экономического развития, в соответствии с которым, главным фактором развития является производство средств, которое невозможно без рабочих рук.

По оценкам экспертов к 2020 г. соотношение числа подготовленных системой образования квалифицированных рабочих и специалистов высшего звена существенно изменилось (рисунок). В 1960 г. на рынок труда от общего количества студентов учреждений образования пришло: 29 % выпускников вузов и 35 % из техникумов (работников среднего звена) и ПТУ (квалифицированных рабочих).

К 1970 г. доля выпускников вузов сократилась до 22 %, а доля квалифицированных рабочих увеличилась до 50 %. Это соотношение сохранялось до середины 90-х гг. К 2010 г. при неизменном количестве выпускников специалистов среднего звена (около 30 %), доля пришедших в экономику кадров с высшим образованием составила порядка 50 %, а численность квалифицированных рабочих сократилось до 15 % к 2020 г. Как показал анализ, в этот период пришло понимание того, что у подрастающего поколения нет интереса к инженерно-техническим видам деятельности [10–21].

К наиболее востребованными на рынке труда в сфере ЖКХ можно отнести такие профессии как слесаря-сантехника, электрика, оператора котельной, оператора систем водоснабжения, слесаря аварийно-восстановительных работ, мастера, инженера в области эксплуатации зданий, строений, сооружений, инженерных систем и оборудования. Следствием дефицита кадров в ЖКХ является

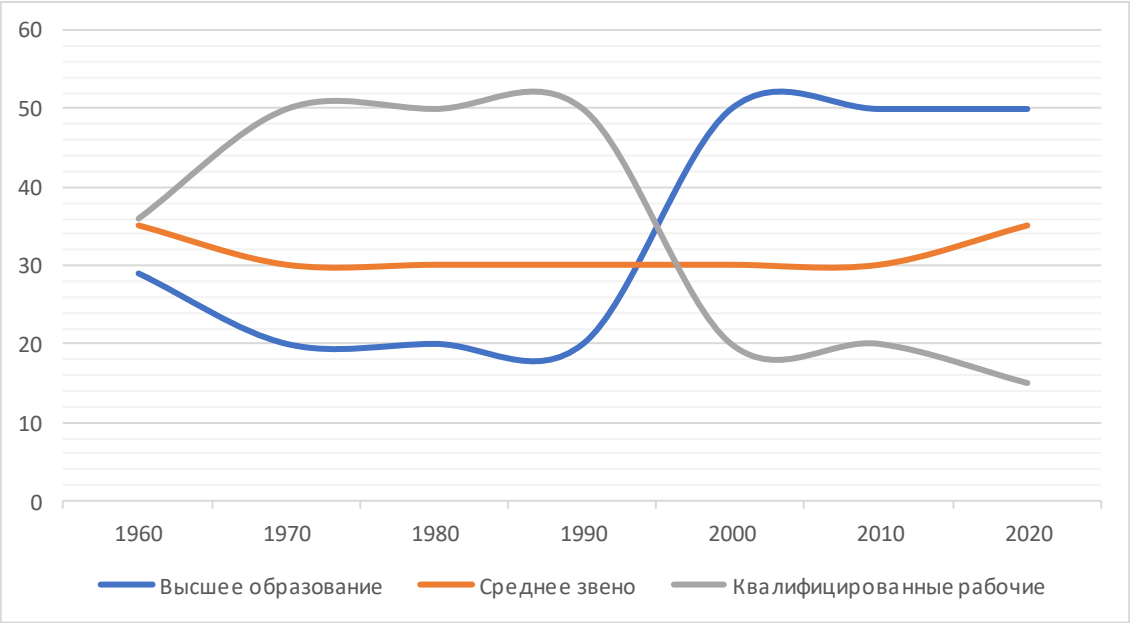
также возникший разрыв поколений и несоответствие образовательных программ современным требованиям к организации и технологии проведения работ по эксплуатации объектов недвижимости.

Стоит отметить, что наполнение отраслевого рынка труда квалифицированными специалистами зависит не только от демографических факторов и потери интереса к техническим профессиям, но и от личных склонностей, мотивации, интересов, индивидуальных особенностей и предпочтений человека, от финансового благополучия и удовлетворенности, получаемых в результате труда.

Мнение о том, что профессий в сфере ЖКХ не являются престижными, как показывает практика, носит субъективный характер и не коррелируется с результатами публичных мероприятий, посвященных отраслевому празднику «День работников ЖКХ», региональных и всероссийских конкурсов профессионального мастерства «Лучший по профессии», участники которых с гордостью демонстрируют успехи и достижения, свойственные особенностям отраслевых профессий[1].

Например, во всероссийском конкурсе «Краса ЖКХ», проведенном в 2024 г., приняло участие более 370 женщин из 23 регионов России.

Конкурс показал, что среди победительниц были представительницы таких профессий, как слесаря-сантехники и электрики.



Доля выпускников системы образования на рынке труда в разрезе специальностей: высшего образования/среднего звена/квалифицированных рабочих (по годам)
The share of graduates of the education system in the labor market by specialty: higher education/middle management/skilled workers (by year)

На подобных мероприятиях в конкурсную документацию включены требования по наличию профильного образования, что позволяет организаторам узнать об отсутствии соответствующих профильных образовательных программ и направлений подготовки или о несоответствии их требованиям современного производства.

Анализ показывает, что техническое образование для эксплуатационной деятельности в городском хозяйстве, основанное на традиционных подходах включения специфических эксплуатационных дисциплин в сетку учебных программ подготовки специалистов для строительной отрасли, не способно охватить все аспекты деятельности на этапе жизненного цикла зданий, строений, сооружений.

Стоит отметить, что гражданские здания, строения и сооружения энергетики, водоснабжения и водоотведения, переработки твердых коммунальных отходов стали превращаться в высокотехнологичные и энергоемкие объекты недвижимости, благодаря использованию в процессе их функционирования современных автоматизированных технологий, приборов и оборудования, в том числе бытового.

[1]Совет по профессиональным квалификациям в ЖКХ. Режим доступа: https://xn----ltbkcvl7a.xn--p1ai/ (дата обращения: 06.09.2024).

МЕТОДЫ

По оценке Общероссийского отраслевого профсоюза работников жизнеобеспечения, у основной массы работников ЖКХ, оплата труда которых ниже среднего уровня по экономике, есть устойчивое понимание того, что одной из особенностей правовых и экономических отношений отраслевых организаций в процессе производства и предоставления жилищно-коммунальных услуг является недооценка их роли в совокупном общественном продукте территории, обусловленная сложившейся тарифной политикой на их продукцию и услуги, которая принесена в жертву общественным интересам без соответствующего экономического обоснования. Отрасль может гордиться своими династиями, которые особенно ярко представлены на предприятиях водоснабжения и водоотведения, коммунальной электро- и теплоэнергетики.

Практика показывает, что случаи, когда несколько поколений одной семьи работают на одном предприятии не единичны. Все они занимали разные должности и имели разные специальности, но понимание социальной ответственности перед обществом, важности и нужности трудовой деятельности на этих предприятиях, было и остается для них определяющим. Именно старшее поколение в этих семьях прививает любовь к профессии, закладывает соответствующие навыки, которые потом развивались в процессе профессионального образования и практической деятельности.

Однако вопрос о том, как пробудить интерес к слесарному, столярному делу или другой востребованной в области эксплуатации объектов недвижимости профессии, остается открытым.

Для того, чтобы поднять престиж деятельности, связанной с эксплуатацией зданий, строений, сооружений, их инженерных систем и оборудования, необходимо понимать, что эта сфера деятельности на бытовом уровне имеет явное конкурентное преимущество, т. к. для квалифицированного специалиста открываются дополнительные возможности заработка в свободное от трудового распорядка время.

Сантехнические, столярные, малярные, электротехнические и другие навыки и умения, связанные с обслуживанием и ремонтом конструктивных элементов и инженерных систем зданий, всегда будут востребованы собственниками квартир в многоквартирном доме, в коттеджном и дачном поселке, а также на других объектах городской недвижимости. Соответствующие бизнес-структуры уже активно используют потенциал таких специалистов. Их бизнес основан на том, что они предлагают клиенту своего специалиста, который имеет конкурентное преимущество на рынке труда.

Чтобы поднять престиж данной деятельности среди молодежи, на государственном уровне была сделана ставка на профориентационную деятельность среди школьников и студентов. Дети познают мир через деятельность. В зависимости от увлечений ребенка можно судить о наличии у него творческого или технического потенциала.

Освоение ремесленных навыков в школах (слесарь, маляр, столяр и др.), которые могут быть предметом обучения, не является гарантией того, что ребенок выберет эту профессию на всю оставшуюся жизнь. Но это позволит ему сделать осознанный выбор своей специальности, в том числе для поступления в колледж или университет.

Главная цель – помочь ребенку лучше понять себя, свои способности, интересы, а также ознакомить его с различными профессиональными возможностями. Профориентационная работа проводится не только в школах, но и в колледжах и университетах.

Это способствует тому, чтобы выпускники оставались в профессии, знания и умения для которой они приобрели в процессе обучения. Благодаря профориентации выпускники смогут принимать осознанные решения о своем будущем профессиональном пути на основе своих особенностей, а также потребностей общества и рынка труда.

Для этого профориентационные мероприятия должны быть разноплановыми и ориентироваться на личные склонности и интересы участников.

Использование различных моделей (методов) профориентационной работы, позволяет прикоснуться к различным профессиям и узнать о них актуальную информацию. К таким методам следует отнести:

– прохождение профориентационных тестов у карьерного консультанта, который предоставит информацию о профессиях и рынке труда для принятия осознанного решения;

– встречи со специалистами конкретных профессий, уже работающими в выбранной области, будут полезны для получения практической информации и советов;

– просветительские и познавательные лекции на тему проблем самоопределения;

– занятия в школах, посвященные той или иной профессии;

– просмотр обучающих и художественных фильмов о выбранной области деятельности;

– ярмарки профессий, которые проводятся с участием работодателей;

– дни открытых дверей в учебных заведениях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из долгожителей профориентационной работы в сфере ЖКХ является федеральный партийный проект «Школа грамотного потребителя» с его региональными представительствами во всех субъектах России, который стартовал в 2014 году[2]. Основная задача проекта – повышение уровня грамотности потребителей услуг ЖКХ, а также разработка информационно-методических материалов и обучающих программ для детей дошкольного и школьного возраста («Азбука ЖКХ» и «Азбука ЖКХ для школьников»), студентов и квартировладельцев, показывающих возможности для профессиональной самореализации.

По информации федеральных и региональных координаторов проекта за прошедшее время проведено сотни тысяч обучающих мероприятий и распространено более миллиона экземпляров информационно-методических пособий. Фонд образовательных проектов «Надежная смена» Международного инженерного чемпионата CASE-IN является разработчиком и оператором молодежных и образовательных проектов для школьников, студентов и работников предприятий топливно-энергетического комплекса[3].

Проекты направлены на повышение качества образования студентов, создание системы эффективного взаимодействия с работодателями для их дальнейшего трудоустройства на предприятиях отрасли.

Всероссийский фестиваль профессионального мастерства «Мастер ЖЭКа» проводится с 2016 г. в целях создания условий для популяризации профессий в сфере жилищно-коммунального хозяйства и профессиональной ориентации среди молодежи по профильным направлениям подготовки кадров для ЖКХ[4].

Приглашаются участники в возрасте от 14 до 35 лет по четырем номинациям: специалист по управлению, эксплуатации и обслуживанию многоквартирного дома, электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования многоквартирного дома, слесарь-сантехник, рабочий зеленого строительства. Всероссийский чемпионат профессионального мастерства среди сантехников в г. Челябинске. Конкурс проводится в соответствии с президентской программой популяризации рабочих профессий.

Цель – поднять престиж и повысить популярность профессии сантехника, изменить к ней отношение как к рабочей специальности, привлечь внимание общественности[5]. В рамках отборочных этапов участники делают добрые дела, бесплатно устанавливают сантехнику нуждающимся (ветеранам, многодетным семьям, инвалидам, пенсионерам и т. д.), проводят мастер-классы в детских домах и школах-интернатах, изготавливают стенды-пособия для учебных заведений, снимают обучающие видеоролики.

Всероссийский конкурс детей и молодежи «Юный Управдом – созидатель благоприятной среды проживания»[6]. Он направлен на выявление, сопровождение и поддержку талантливых молодых граждан, принимающих активное участие в управлении своим домом, придомовой территорией, микрорайонном, школой, создание проектов формирования доступной, благоприятной, комфортной и безопасной среды проживания в муниципальных образованиях России. Конкурс проводится в трех возрастных категориях (10–13, 14–17 и 18–25 лет) по семи номинациям. Основная цель – развитие гражданской активности детей и молодежи, обеспечение возможности их участия в формировании доступной, благоприятной, комфортной и безопасной среды проживания в муниципальных образованиях.

Компьютерная игра «ЖЭКа» – бесплатная онлайн-игра для социальных сетей, позволяющая в увлекательной форме осваивать современные технологии энергосбережения и узнавать о способах уменьшения платежей за жилищно-коммунальные услуги[7].

Игра повышает правовую грамотность граждан в сфере жилищно-коммунальных услуг, в том числе при проведении капитального ремонта. Игра позволяет разобраться во всевозможных квитанциях за электроэнергию и

---

[2]Федеральный проект «Школа грамотного потребителя». Режим доступа: https://vk.com/public77428600 (дата обращения: 06.09.2024).

[3]Надежная смена. Фонд образовательных проектов. Режим доступа: https://fondsmena.ru/project/case-in/ (дата обращения: 06.09.2024).

[4]Фонд развития территорий. Режим доступа: https://vk.com/frt_rf (дата обращения: 06.09.2024).

[5]Лучший сантехник. Кубок России. Режим доступа: http://www.день-сантехника.рф/ (дата обращения: 06.09.2024).

[6]Юный Управдом – созидатель благоприятной среды проживания https://konkurs-upravdom.ru (дата обращения: 06.09.2024).

[7]ЖЭКа. Первый обучающий комплекс по ЖКХ. Режим доступа: https://igra-jeka.ru/leaders_contacts/ (дата обращения: 06.09.2024).

отопление, нюансах проведения капитального ремонта и экономии на услугах ЖКХ. По инициативе партии «Единая Россия» запущена акция по проведению в школах уроков по обучающей игре «Домовой», цель которой состоит в том, чтобы дать школьникам основы знаний о том, что такое жилищные и коммунальные услуги, из чего они состоят и как рассчитывается размер платы за них на примере многоквартирного дома. Игра построена на моделировании процессов в многоквартирном доме[8].

Учащиеся берут на себя роли собственников квартир, управляющей компании, ресурсоснабжающих организаций. В ходе игры они на практике узнают как формируются тарифы на коммунальные услуги, рассчитывается плата за содержание жилья и как правильно читать платежки по квартплате и контролировать качество жилищно-коммунальных услуг.

По аналогии с вышеупомянутыми федеральными проектами в каждом субъекте Федерации реализуются собственные, региональные программы профессиональной ориентации молодежи. Например, в г. Москве уникальной площадкой для целей профориентации населения является Музей городского хозяйства, который расположен в павильоне № 5 ВДНХ.

В трех тематических зонах размещены разные сферы городского хозяйства: водоснабжение и водоотведение, электро-, тепло - и газоснабжение, экология (благоустройство и обращение с твердыми коммунальными отходами). В музее представлено сто сорок экспонатов, часть из которых является интерактивными. В течении двух часов увлекательной экскурсии посетители знакомятся с работой предприятий городского хозяйства и могут принять участие в квесте и получить памятный подарок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Важно не ограничиваться лишь одним методом, например, прохождением тестов, а сочетать теоретическое изучение профессии с практикой – посещать экскурсии на предприятия и профильные вузы.

Главное, чтобы посещение было организовано так, чтобы после него у школьника или студента появилось желание учиться профессии. У детей, которые проходят через эту систему научно обоснованных профориентационных мероприятий, организованных с учетом особенностей их личности и потребности в кадрах для сферы эксплуатации зданий, строений, сооружений, как правило, появляется понимание выбора будущей профессии.

Энергия организаторов профориентационных мероприятий должна не только аккумулировать общественные настроения отраслевых ассоциаций, советов, многочисленных содержательных форумов, но и ориентироваться на перспективу развития как вида деятельности «Эксплуатация зданий, строений, сооружений», связанного с внедрением элементов искусственного интеллекта.

Это позволит планировать на 10–15 лет вперед для понимания того, чему должны обучать в школе, чтобы потом развивать в колледже и университете.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Плотникова И.А., Сорокина И.В. Проблемы развития современного жилищно-коммунального хозяйства // Проблемы развития территории. 2019. № 6 (104). С. 52–68. EDN: YABEOB.
2. Ночевнова А.А., Потапова Е.В. Анализ демографической ситуации в Российской Федерации // Телескоп: журнал социологических и маркетинговых исследований. 2024. № 1 (13). С. 135–142. https://doi.org/10.24412/1994-3776-2024-1-135-142. EDN: AHGHPR.
3. Чернышов Л.Н., Ивчик Т.А., Калгушкин А.Г. Особенности функционирования многоквартирных зданий на эксплуатационном этапе жизненного цикла // Экономика строительства. 2024. № 9. С. 343–347. EDN: APJGKC.
4. Канкасов А.А. Анализ современной концепции эксплуатации объектов недвижимости // Научный журнал молодых ученых. 2020. № 4 (21). С. 58–62. EDN: JNULJC.
5. Герасимова А.А. Престижность профессий как фактор профессионального выбора молодежи // Вестник экономики, права и социологии. 2018. № 1. С. 191–194. EDN: LBKNIL.
6. Ibijoke A.O., Adeyemi O.O. Effective Property Management in Increasingly Urbanized Cities // International Journal of Research and Innovation in Social Science. 2024. Vol. 8. Iss. 1. P. 1–11. https://doi.org/10.47772/IJRISS.2024.801171.
7. Гайнутдинова И.Р. Анализ эффективности методических рекомендаций по формированию у подростков практических умений и навыков // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: акмеология образования. Психология развития. 2021. Т. 10. № 1. С. 79–85. https://doi.org/10.18500/2304-9790-2021-10-1-79-85. EDN: AYHHQH.

[8]Домовой. Режим доступа: https://cloud.mail.ru/public/XZ6G/YDwhgBFTx (дата обращения: 06.09.2024).

8. Тарлавский В.И. Некоторые аспекты необходимость технологизации профессиональной ориентации (историко-педагогический и научно-теоретический) // Ученые записки. Электронный журнал Курского государственного университета. 2019. № 4. С. 188–197. EDN: LWKIXS.
9. Сергеев И.С. Образовательная профориентация – методологическая основа профориентационой работы с детьми и молодежью // Профессиональное образование и рынок труда. 2023. Т. 11. № 1. С. 24–44. https://doi.org/10.52944/PORT.2023.52.1.002. EDN: PAKRJK.
10. Минеев В.Е., Федотов А.С., Ахмеджанов Р.Р. Профильные классы как одна из эффективных форм профориентации подростков // Профессиональное образование в России и за рубежом. 2018. № 4 (32). С. 70–75. EDN: YUVIRV.
11. Амбарова П.А., Немировский М.В. Новые подходы к профессиональной ориентации в школе в условиях изменяющегося мира профессий // Известия Уральского федерального университета. Серия 1: проблемы образования, науки и культуры. 2020. Т. 26. № 1. С. 188–199. https://doi.org/10.15826/izv1.2020.26.1.021. EDN: ARAMUC.
12. Whitehead T.A. Training and Development: Investing in Employees Through Assessment // Scholar Chatter. 2022. Vol. 3. Iss. 1. P. 1–6. http://doi.org/10.47036/SC.3.1.1-6.2022.
13. Кириллова А.Д., Попов А.В. Государственная политика России по содействию занятости молодежи в условиях вызовов современности // Russian Journal of Economics and Law. 2024. Т. 18. № 3. С. 686–698. https://doi.org/10.21202/2782-2923.2024.3.686-698. EDN: BYVRCU.
14. Толстикова А.А. Сравнительный анализ профориентационных методик // Молодой ученый. 2021. № 17. С. 346–350. EDN: KQPKNQ.
15. Наумова О.Н., Николаева Н.А. Молодые специалисты как ресурс для формирования технологического суверенитета и фактор инновационного развития национальной и региональной экономики // Вестник МГПУ. Серия: экономика. 2024. № 3. С. 134–148. EDN: GLBBSA.
16. Романовский С.А. Конкурсы профессионального мастерства как форма проектной деятельности // Инновационное развитие профессионального образования. 2023. № 3. С. 96–101. EDN: SWFIEU.
17. Фролов А.А., Соколов А.В., Палагичева А.В. «Россия – страна возможностей» как экосистема создания равных стартовых возможностей для граждан // Управленческое консультирование. 2023. № 10. С. 98–112. https://doi.org/10.22394/1726-1139-2023-10-98-112. EDN: MJELMW.
18. Kyle R.C., Spodek M.S., Baird F.M. Property Management. La Crosse, Wisconsin: Dearborn Real Estate Education, 2016. 711 p.
19. Чернышов Л.Н, Смолина Л.Ф., Калгушкин А.Г. Предпосылки подготовки профильных специалистов для эксплуатационного этапа жизненного цикла зданий, строений, сооружений // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 4. С. 787–796. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-787-796. EDN: MWBZGO.
20. Munanga Y., Musakwa W., Chirisa I. The Urban Planning-Real Estate Development Nexus // The Palgrave Encyclopedia of Urban and Regional Futures. Camden: Palgrave Macmillan, 2022. P. 2046–2054. https://doi.org/10.1007/978-3-030-87745-3_68.

REFERENCES

1. Plotnikova I.A., Sorokina I.V. Modern Housing and Communal Services Development Problems. *Problems of Territory's Development.* 2019;6(104):52-68. (In Russ.). EDN: YABEOB.
2. Nochevnova A.A., Potapova E.V. Analysis of The Demographic Situation in The Russian Federation. *Telescope: Journal of Sociological and Marketing Research.* 2024;1(13):135-142. (In Russ.). https://doi.org/10.24412/1994-3776-2024-1-135-142. EDN: AHGHPR.
3. Chernyshov L.N., Ivchik T.A., Kalgushkin A.G. Specific of Functioning of the Apartment Buildings at The Operational Life Cycle Stage. *Construction Economy*. 2024;9:343-347. (In Russ.). EDN: APJGKC.
4. Kankasov A.A. Analysis of The Modern Concept of Real Estate Operation. *Nauchnyi zhurnal molodykh uchenykh.* 2020;4(21):58-62. (In Russ.). EDN: JNULJC.
5. Gerasimova A.A. Prestige of A Profession as A Factor of the Professional Choice of Youth. *The Review of Economy, the Law and Sociology.* 2018;1:191-194. (In Russ.). EDN: LBKNIL.
6. Ibijoke A.O., Adeyemi O.O. Effective Property Management in Increasingly Urbanized Cities. *International Journal of Research and Innovation in Social Science.* 2024;8(1):1-11. https://doi.org/10.47772/IJRISS.2024.801171.
7. Gainutdinova I.R. Analysis of The Effectiveness of Instructional Recommendations for Forming Practical Skills and Abilities in Adolescents. *Izvestiya of Saratov University. New Series. Series: Educational Acmeology. Developmental Psychology.* 2021;10(1):79-85. (In Russ.). https://doi.org/10.18500/2304-9790-2021-10-1-79-85. EDN: AYHHQH.
8. Tarlavskii V.I. Some Aspects of the Need for Technologization of Professional Guidance (Historical-Pedagogical and Scientific-Theoretical). *Uchenye zapiski. Elektronnyi zhurnal Kurskogo gosudarstvennogo universiteta.* 2019;4:188-197. (In Russ.). EDN: LWKIXS.

9. Sergeev I.S. Educational Career Guidance-Methodological Basis Ofprofessional Orientation Work with Children and Youth. *Vocational Education and Labour Market.* 2023;11(1):24-44. (In Russ.). https://doi.org/10.52944/PORT.2023.52.1.002. EDN: PAKRJK.
10. Mineev V.E., Fedotov A.S., Akhmedzhanov R.R. Specialized Classes as One of the Most Effective Forms of Vocational Guidance of Teenagers. *Professional Education in Russia and Abroad*. 2018;4(32):70-75. (In Russ.). EDN: YUVIRV.
11. Ambarova P.A., Nemirovskii M.V. New Approaches to Vocational Guidance at School in The Changing World of Professions. *Izvestia Ural Federal University Journal. Series 1. Issues in Education, Science and Culture.* 2020;26(1):188-199. (In Russ.). https://doi.org/10.15826/izv1.2020.26.1.021. EDN: ARAMUC.
12. Whitehead T.A. Training and Development: Investing in Employees Through Assessment. *Scholar Chatter.* 2022;3(1):1-6. http://doi.org/10.47036/SC.3.1.1-6.2022.
13. Kirillova A.D., Popov A.V. State Policy of Russia to Promote Youth Employment Under the Modern Challenges. *Russian Journal of Economics and Law.* 2024;18(3):686-698. (In Russ.). https://doi.org/10.21202/2782-2923.2024.3.686-698. EDN: BYVRCU.
14. Tolstikova A.A. Comparative Analysis of Career Guidance Techniques. *Molodoi uchenyi*. 2021;17:346-350. (In Russ.). EDN: KQPKNQ.
15. Naumova O.N., Nikolaeva N.A. Young Specialists as A Resource for The Formation of Technological Sovereignty and A Factor of Innovative Development of the National and Regional Economy. *MCU Journal of Economic Studies.* 2024;3:134-148. (In Russ.). EDN: GLBBSA.
16. Romanovsky S.A. Competitions of Professional Skills as A Form of Project Activity. *Innovative Development of Vocational Education.* 2023;3:96-101. (In Russ.). EDN: SWFIEU.
17. Frolov A.A., Sokolov A.V., Palagicheva A.V. “Russia – The Country of Opportunities” As an Ecosystem for Creating Equal Starting Opportunities for Citizens. *Administrative Consulting.* 2023;10:98-112. (In Russ.). https://doi.org/10.22394/1726-1139-2023-10-98-112. EDN: MJELMW.
18. Kyle R.C., Spodek M.S., Baird F.M. *Property Management*. La Crosse, Wisconsin: Dearborn Real Estate Education, 2016. 711 p.
19. Chernyshov L.N., Smolina L.F., Kalgushkin A.G. Prerequisites for The Training of Specialists in The Operational Phase of the Life Cycle of Buildings, Structures, And Facilities. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2024;14(4):787-796. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-787-796. EDN: MWBZGO.
21. Munanga Y., Musakwa W., Chirisa I. The Urban Planning-Real Estate Development Nexus. In: *The Palgrave Encyclopedia of Urban and Regional Futures.* Camden: Palgrave Macmillan, 2022. P. 2046–2054. https://doi.org/10.1007/978-3-030-87745-3_68.

Информация об авторах

Чернышов Леонид Николаевич,
д.э.н., профессор, профессор кафедры жилищно-коммунального комплекса,
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, Россия,
✉e-mail: leo.chern@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0007-1758-9498
Author ID: 473278

Смолина Лидия Филипповна,
к.э.н., доцент кафедры жилищно-коммунального комплекса,
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, Россия,
e-mail: smolinaLF@mail.com
https://orcid.org/0009-0004-9195-309X
Author ID: 1250820

Information about the authors

Leonid N. Chernyshov,
Dr. Sci. (Econ.), Professor,
Professor of the Department of Housing and Public Utilities,
National Research Moscow State University of Civil Engineering,
26 Yaroslavskoe Shosse, Moscow 129337, Russia,
✉e-mail: leo.chern@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0007-1758-9498
Author ID: 473278

Lidiya F. Smolina,
Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor of the Department of Housing and Public Utilities,
National Research Moscow State University of Civil Engineering,
26 Yaroslavskoe Shosse, Moscow 129337, Russia,
e-mail: smolinaLF@mail.com
https://orcid.org/0009-0004-9195-309X
Author ID: 1250820

Калгушкин Алексей Григорьевич,
заместитель начальника управления благоустройства администрации городского округа Балашиха, Московской области,
143900, г. Балашиха, пр. Ленина, д. 11, Россия,
аспирант,
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, Россия,
e-mail: aleksey@kalgushkin.ru
https://orcid.org/ 0009-0008-1211-6007

Alexey G. Kalgushkin,
Deputy Head of the Department of Public Works of the Administration of the Urban District of Balashikha, Moscow Region,
11 Lenin Ave., Balashikha 143900, Russia,
Postgraduate Student,
National Research Moscow State University of Civil Engineering,
26 Yaroslavskoe Shosse, Moscow 129337, Russia,
e-mail: aleksey@kalgushkin.ru
https://orcid.org/ 0009-0008-1211-6007

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.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 12.02.2025.
Одобрена после рецензирования 10.03.2025.
Принята к публикации 11.03.2025.

Information about the article

The article was submitted 12.02.2025.
Approved after reviewing 10.03.2025.
Accepted for publication 11.03.2025.

Научная статья
УДК 658.264+519.673
EDN: JRSLHF
DOI: 10.21285/2227-2917-2025-2-320-335

Применение информационно-вычислительных технологий для обоснования проектных решений по реконструкции и развитию теплоснабжающих систем и разработке мероприятий по их внедрению

З.И. Шалагинова[1]✉, В.В. Токарев[2]
[1,2]Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

Аннотация. Статья посвящена экспертизе проекта реконструкции теплоснабжающей системы г. Петропавловск-Камчатский. За последнее десятилетие произошли большие изменения в объемах и структуре теплопотребления, в результате чего одна из тепловых магистралей оказалась перегружена и не может полностью обеспечить все питающиеся от нее центральные тепловые пункты требуемым количеством тепла. Для нормализации теплоснабжения города и повышения надежности было принято решение о реконструкции системы теплоснабжения, предусматривающей закольцовку магистральных тепловых сетей. При реконструкции теплоснабжающих систем – изменении топологии сетей, состава оборудования, нагрузок потребителей, предусмотренных проектом – требуется разработка и организация новых эксплуатационных режимов функционирования и наладочных мероприятий с учетом новых условий эксплуатации. Сложность разработки эксплуатационных режимов требует привлечения информационно-вычислительных технологий. Экспертиза проекта и организация режимов работы тепловых сетей проводились с помощью разработанного в Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук информационно-вычислительного комплекса «АНГАРА-ТС». Для выполнения расчетов была актуализирована разработанная ранее многоуровневая компьютерная модель с учетом изменений в структуре тепловых сетей, подключения новой насосной станции и перспективных нагрузок. Исследование выполнено в рамках государственного задания (№ FWEU-2021-0002, Рег. № АААА-А21-121012090012-1) Программы фундаментальных исследований РФ на 2021–2030 гг.

Ключевые слова: теплоснабжающая система, эксплуатационный режим, теплогидравлический расчет, компьютерное моделирование, информационно-вычислительный комплекс

Для цитирования: Шалагинова З.И., Токарев В.В. Применение информационно-вычислительных технологий для обоснования проектных решений по реконструкции и развитию теплоснабжающих систем и разработке мероприятий по их внедрению // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 2. С. 320–335. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-320-335. EDN: JRSLHF.

Original article

Use of information-computer technologies for justification of design decisions on reconstruction and development of heat supply systems and measures for their implementation

Zoya I. Shalaginova[1]✉, Vyacheslav V. Tokarev[2]
[1,2]Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

Abstract. This paper discusses the expert evaluation of a reconstruction project for the heat supply system in Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation. The past decade has seen significant changes in volumes and structure of heat consumption, which resulted in overloading of one of the main heat

© Шалагинова З.И., Токарев В.В., 2025

pipelines and its inability to provide all the respective heat supply stations with the required amount of heat. In order to normalize heat supply to the city and improve reliability, a decision was taken on reconstructing the heat supply system providing connections between the main heating systems. When reconstructing heat supply systems, i.e., changing network topology, equipment configuration, and consumer loads stipulated by a project, the development and organization of new operating modes and adjustment measures taking into account new operating conditions are required. Difficulties in the development of operating modes requires the use of information-computer technologies. The project expertise and organization of operating modes of heat networks were carried out using information computing complex "ANGARA-HS" developed in the Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. To carry out calculations, a previously developed multi-level computer model was used taking into account changes in the structure of heat networks, connection of a new pumping station, and prospective loads. The research was carried out within the state order (№ FWEU-2021-0002, registration no. № AAAA-A21-121012090012-1) of the Fundamental research program of Russian Federation for 2021–2030 years.

Keywords: heat supply system, operating conditions, thermal hydraulic calculation, computer modeling, information and computing complex

For citation: Shalaginova Z.I., Tokarev V.V. Use of information-computer technologies for justification of design decisions on reconstruction and development of heat supply systems and measures for their implementation. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2025;15(2):320-335. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-320-335. EDN: JRSLHF.

ВВЕДЕНИЕ

Современные теплоснабжающие системы (ТСС) мегаполисов и крупных промышленных центров – высокотехнологичные инфраструктурные комплексы, представляющие собой сложную совокупность взаимосвязанных элементов, работающих в режиме синхронизированного взаимодействия. Они включают километры тепловых сетей, десятки котельных и теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), различные насосные станции, узлы учета и регулирования, которые объединены в единую, часто иерархическую, систему. Эти обстоятельства вызывают сложности в организации режимов. При проектировании систем теплоснабжения выполняются поверочные расчеты потокораспределения на агрегированных схемах. Качество принимаемых решений напрямую зависит от масштабов и сложности как самой теплоснабжающей системы, так и степени детализации при агрегировании. Как правило, рассматриваются только магистральные сети с обобщенными перспективными нагрузками без учета тепловых режимов. Однако обеспечение потребителей расчетным расходом воды не означает получения ими требуемого количества тепла, которое можно обеспечить различными сочетаниями расхода и температуры. Это обстоятельство требует расчета теплогидравлических режимов. Вопросам моделирования теплогидравлических режимов посвящено немало работ как в России, так и за рубежом [1–15]. При моделировании достаточно часто используются различные приемы упрощения и понижения размерности привлекаемых моделей на уровне упрощения расчетных схем. Такие способы ориентированы на специальные свойства задач проектирования, реконструкции, оперативного управления, привлекаемых моделей стационарных или динамических режимов, целей моделирования. Для экспертизы проекта реконструкции магистральных сетей использовался прием многоуровневого моделирования с привлечением методов декомпозиции и агрегирования как расчетных схем, так и задач [1].

При реконструкции ТСС, изменении топологии сетей, состава оборудования, нагрузок потребителей, предусмотренных проектом, требуется разработка и организация новых эксплуатационных режимов функционирования и наладочных мероприятий с учетом новых условий эксплуатации.

Сложность разработки эксплуатационных режимов требует привлечения информационно-вычислительных технологий. Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН) на протяжении многих лет, начиная с 2008 по 2023 г., ведет плодотворное сотрудничество с ПАО «Камчатскэнерго» и ее филиалами «Камчатские ТЭЦ» и «Коммунальная энергетика».

В указанный период были проведены различные работы, в ходе которых была разработана графическая база данных (ГБД) для распределительных и магистральных тепловых сетей. На персональных вычислительных

устройствах заказчика установлены информационно-вычислительная среда (ИВС) «АНГАРА» и программно-вычислительный комплекс (ПВК) «АНГАРА-ТС», разработанные в ИСЭМ СО РАН [16, 17].

В составе ПВК передано программное обеспечение для расчета гидравлических и тепловых режимов, построения пьезометрических и температурных графиков, расчета сужающих устройств и анализа допустимости режимов. В 2017 г. по заказу филиала ПАО «Камчатскэнерго» «Коммунальная энергетика» ИСЭМ СО РАН разработал полномасштабную модель существующих и перспективных систем теплоснабжения г. Петропавловск-Камчатский.

Модель учитывает как задачи планирования развития энергосистемы в целом, так и расчетно-аналитические задачи, стоящие перед эксплуатирующими организациями, включая автоматизацию теплогидравлических расчетов для теплосетей. В дополнение к имеющейся единой корпоративной компьютерной ГБД, были созданы базы по тепловым сетям от 14 котельных филиала ПАО «Камчатскэнерго» «Коммунальная энергетика». В 2023 г. проведена актуализация существующей ГБД по системе теплоснабжения г. Петропавловска-Камчатского с учетом произошедших изменений в структуре и параметрах тепловых сетей, была проведена настройка модели первого контура с учетом закольцовки тепловых магистралей (ТМ) ТМ-2 и ТМ-3.

МЕТОДЫ

Характеристика системы теплоснабжения г. Петропавловск-Камчатский

Город расположен на сопках и имеет большую разбросанность на местности (рис. 1).



Рис. 1. Вид на г. Петропавловск-Камчатский
Fig. 1. View of Petropavlovsk-Kamchatsky

Система теплоснабжения представляет собой сложный пространственный объект с высокой размерностью и иерархической структурой, объединяющей множество разнородных элементов.

Теплоснабжение осуществляется двумя Камчатскими теплоэлектроцентралями (КТЭЦ) и более 30 котельными. Система на уровне магистральных сетей является закрытой, независимой, при этом распределительные сети подключаются к магистральным через теплообменники, размещенные в центральных тепловых пунктах (ЦТП). В городе функционирует 86 ЦТП. Тепловые сети вторичного контура имеют частично двухтрубную прокладку, частично четырехтрубную. На магистральные тепловые сети первого контура работают два источника тепла ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, которые до проекта закольцовки работали независимо на отдельные магистрали. ТМ-1 и ТМ-2 питаются от КТЭЦ-1, ТМ-3 от КТЭЦ-2 (рис. 2).

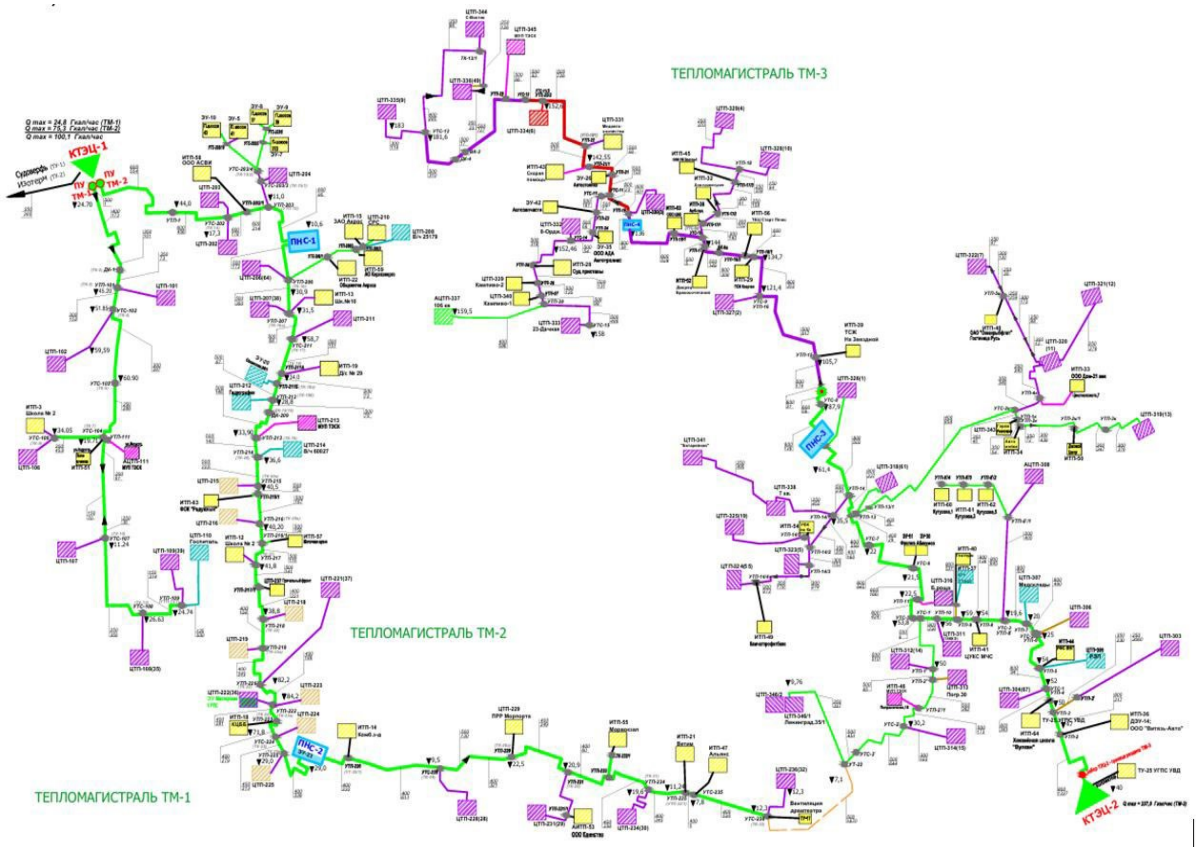


Рис. 2. Условная схема теплоснабжения г. Петропавловск-Камчатский от КТЭЦ-1 и КТЭЦ-2
Fig. 2. Conventional diagram of heat supply to Petropavlovsk-Kamchatsky from Kamchatka CHPP-1 and Kamchatka CHPP-2

В тепловых сетях функционируют подкачивающие насосные станции, регуляторы давления и другие управляющие устройства. Это создает большие трудности решения задач эксплуатации, управления, организации и планирования режимов работы системы теплоснабжения.

Проблемы теплоснабжения

Проблемы с теплоснабжением города обусловлены следующими основными обстоятельствами:

1. Значительный перепад геодезических отметок местности. Различие отметок потребителей отдельных микрорайонов составляют от 10 до 125 м, а внутри одного строения 5–10 м. Зачастую секции домов возводятся «ступеньками», и они имеют разные тепловые вводы.

2. Большое разнообразие схем подключения нагрузок потребителей в микрорайонах. Изначально проект схемы теплоснабжения предполагал подключение всех потребителей по независимой, закрытой схеме. Однако трубопроводы горячего водоснабжения (ГВС) были проложены не ко всем домам. В результате в отдельных микрорайонах существуют двухтрубные системы с открытым водоразбором на нужды ГВС из сетей отопления. Есть полностью четырехтрубные закрытые независимые системы и смешанные схемы.

3. В микрорайонах с четырехтрубной прокладкой, где не ко всем домам проложены сети горячего водоснабжения, диаметры сетей ГВС, спроектированные на полную нагрузку всех домов, оказались завышенными для величины транспортируемых расходов. Как следствие, скорости течения теплоносителя в этих сетях ниже допустимых, что приводит к значительному его остыванию. В результате не обеспечивается требуемая температура воды в местах водоразбора, увеличиваются сливы воды населением, следовательно, увеличиваются циркуляционные расходы.

4. В отдельных микрорайонах с двухтрубной прокладкой тепловых сетей в летнем режиме вся нагрузка ГВС транспортируется по сетям отопления, диаметры которых значительно больше, чем требуется для расхода теплоносителя на нужды ГВС. Это обстоятельство приводит к значительному остыванию теплоносителя на пути транспорта и увеличению

циркуляционных расходов для покрытия тепловых потерь.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Цели проекта закольцовки тепловых сетей первого контура

За последнее десятилетие произошли большие изменения в объемах и структуре теплопотребления, в результате чего ТМ-3 оказалась перегружена и не может полностью обеспечить все питающиеся от нее ЦТП требуемым количеством тепла.

В основе проекта лежит создание замкнутой кольцевой системы теплоснабжения, что радикально меняет существующую схему. Вместо линейных магистралей, где повреждение одного участка приводит к полному отключению теплоснабжения целых районов, кольцевая система обеспечивает резервирование. При аварии на одном участке теплоноситель может циркулировать по альтернативному маршруту, минимизируя перерывы в подаче тепла. Это особенно актуально для п-ова. Камчатки, где суровые климатические условия предъявляют высокие требования к бесперебойности работы тепловых сетей.

Помимо повышения надежности, проект кольцевания позволяет оптимизировать работу ТЭЦ. Создание замкнутой системы способствует более равномерному распределению нагрузки на оборудование, что увеличивает срок его службы и повышает коэффициент полезного действия. Реализация проекта включает в себя не только прокладку новых участков магистральных сетей, непосредственно обеспечивающих закольцовку, но и реконструкцию подкачивающей насосной станции (ПНС) №2 с заменой насосов на насосы с частотно-регулируемым приводом.

Проект кольцевания тепловых сетей ПАО «Камчатскэнерго» – комплексное решение, направленное на повышение энергоэффективности, надежности и безопасности теплоснабжения города. Его успешная реализация обеспечит комфортные условия для населения и снизит риски, связанные с перебоями в теплоснабжении.

По предварительным оценкам, экономический эффект от реализации проекта будет значительным, что включает не только экономию на ремонтных работах и снижение потерь тепла, но и предотвращение экономических потерь, связанных с авариями на теплосетях. Проект закольцовки ТМ-2 и ТМ-3 в зимнем режиме предполагает переключение части нагрузок ТЭЦ-2 на ТЭЦ-1 с целью уменьшения загрузки ТМ-3 и повышения надежности теплоснабжения южной части города. Объем переключаемой нагрузки составляет 21 Гкал/час, что соответствует расходу теплоносителя 262,5 т/ч при температурном графике 150/70 °С. Часть ЦТП-312, ЦТП-313, ЦТП-314, ИТП-46, ЦТП-346 отключаются от ТМ-3, идущей от ТЭЦ-2, путем закрытия секционирующих задвижек.

В тепловой камере УТ-22, после открытия секционирующих задвижек, теплоноситель от ТЭЦ-1 по подающему трубопроводу вновь проектируемого участка закольцовки диаметром 500 мм поступает к перечисленным выше ЦТП, находящимся ранее в зоне действия ТЭЦ-2. Подключение распределительных сетей и потребителей к новым участкам магистрали нет. Возврат теплоносителя на ТЭЦ-1 обеспечивается через обратный трубопровод нового участка теплосети (рис. 3).

Для обеспечения поставленной цели были разработаны зимний и летний эксплуатационные режимы с учетом изменений в структуре магистральных сетей:

– ввод новой теплотрассы магистральной тепловой сети;

– реконструкция насосной станции ПНС-2 и установка насосов с частотно-регулируемым приводом.

ПНС-2 работает в реверсивном режиме: в зимнем режиме – включена в работу на подающем трубопроводе, в летнем – на обратном. Сложность разработки режимов вызвана большой протяженностью тепловых магистралей и сильно пересеченным рельефом местности. Под новые режимы были разработаны наладочные мероприятия для обеспечения требуемого уровня теплоснабжения потребителей.

Закольцовка тепловых сетей позволит полностью останавливать КТЭЦ-1 в летний период, обеспечивая потребности города в горячей воде только за счет КТЭЦ-2. При этом закрываются головные задвижки на КТЭЦ-1, секционирующие задвижки в камерах ВК-32/33 и УТ-22 открыты.

Нагрузка ГВС составляет 18,4 Гкал/час, что соответствует расходу теплоносителя 724,5 т/ч при температурном графике 75/50 °С.

Давление в точках присоединения поддерживается на уровне:

– в подающем трубопроводе тепловой камеры УТ-22 – 1,52 МПа, в обратном – 0,99 МПа;

– в подающем трубопроводе камеры ВК-32/33 – 1,09 МПа, в обратном – 0,69 МПа.

Автоматизация работы тепловой сети проектом не предусмотрена.

Управление параметрами теплоснабжения и ГВС производится по графику качественного регулирования централизованно в источниках теплоснабжения (на ТЭЦ), а также в существующих ЦТП и ИТП потребителей.



Рис. 3. Закольцовка тепловых магистралей ТМ-2 и ТМ-3 в зимнем режиме
Fig. 3. Looping of heating mains HM-2 and HM-3 in winter conditions

Многоуровневые расчеты теплогидравлических режимов тепловых сетей новой структуры

Для выполнения теплогидравлических расчетов была актуализирована разработанная ранее многоуровневая компьютерная модель [0]. Она учитывает иерархическую структуру, изменения в конфигурации тепловых сетей, подключение новой насосной станции и прогнозируемые нагрузки.

Это позволяет выполнять расчеты теплоснабжения как на этапе проектирования, так и при разработке и планировании режимов работы. Разработка эксплуатационных режимов работы магистральных тепловых сетей города и наладочных мероприятий для нормализации теплоснабжения микрорайонов проводились на основе серии теплогидравлических расчетов согласно методике многоуровневого моделирования, разработанной в ИСЭМ СО РАН [19, 20].

Целями расчетов являлись:

– экспертиза проектных решений закольцовки магистральных сетей посредством воспроизведения гидравлических и тепловых режимов магистральных сетей первичного контура при новой схеме их эксплуатации;

– выявление узких мест и количественная оценка уровня снабжения потребителей микрорайонов с учетом закольцовки и перспективных нагрузок;

– определение минимально необходимых действующих напоров насосов, установленных на источниках, и в подкачивающих насосных станциях, а также давление подпитки на источниках тепла для обеспечения требуемого уровня теплоснабжения потребителей;

– оценка уровня снабжения потребителей при выбранных параметрах на источниках тепла и насосных станциях;

– определение мест установки (подающий или обратный трубопровод в сети, а также у потребителей) и параметров дросселирующих устройств;

– разработка рекомендаций по наладочным мероприятиям.

Разработка эксплуатационных режимов в отопительный и летний периоды

Основной целью разработки режимов работы ТСС является определение оптимальных значений параметров управляющих элементов для обеспечения расчетных расходов теплоносителя через абонентские системы при строгом соблюдении технологических ограничений [21–23].

К таким ограничениям относятся:

– допустимые давления теплоносителя во всех узлах системы;

– располагаемые напоры на вводах потребителей;

– скорости движения теплоносителя в трубопроводах;

– температуры воздуха в отапливаемых помещениях;

– температуры воды в точках водоразбора горячего водоснабжения.

Анализ теплогидравлических режимов, выполненный с помощью моделирования по перспективным нагрузкам при параметрах управляющих элементов, рекомендованных проектом закольцовки (напоры насосных и источников тепла, давления подпитки), показал, что не все потребители получают требуемое количество тепла [17, 24]. Проверка допустимости режимов позволила определить диктующих потребителей с минимальными/максимальными значениями контролируемых параметров, с помощью которых были определены необходимые для обеспечения требуемого уровня теплоснабжения действующие напоры насосов и давления подпитки на ТЭЦ [25]. Для компенсации тепловых потерь в сетях были определены поправки к расчетным расходам теплоносителя дифференцированно для всех потребителей и ЦТП. Корректировка расходов проводилась по результатам расчета на ИВК «АНГАРА-ТС», исходя из нормативных тепловых потерь на трубопроводных участках по году их прокладки. Расходами, вычисленными индивидуально для каждого потребителя и ЦТП, компенсируются тепловые потери в подающей магистрали. У потребителей, непосредственно подключенных к магистральным тепловым сетям, поправка определена подробным расчетом. На ЦТП остывание компенсировано поправкой к расходу исходя из обеспечения температуры в обратном трубопроводе на выходе каждого ЦТП, равной 70 °С. Таким образом, для обеспечения зимнего режима с учетом закольцовки ТМ-2 и ТМ-3, следует поддерживать следующие параметры в узлах регулирования, указанные в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Параметры на источниках теплоснабжения
Table 1. Parameters at heat supply sources

	Действующий напор, м в. ст.	Давление подпитки, м в. ст.	Манометрический напор в подающем трубопроводе, м в. ст.	Манометрический напор в обратном трубопроводе, м в. ст.
ТЭЦ-2	(115±10) 118	(26) 36	(153± 7) 154	(38±2) 36
КТЭЦ-1-1	(75±7) 80	(60) 60	(130± 7) 140	(60±2) 60
КТЭЦ-1-2	(77±7) 80	(60) 60	(130± 7) 140	(60±2) 60

Примечание: в скобках указаны значения по проекту

Таблица 2. Параметры на насосных станциях
Table 2. Parameters at pumping stations

Наименование	На подающем трубопроводе		На обратном трубопроводе	
	Действующий напор насосов, м в. ст.	Уставка регулятора давления после себя, м в. ст.	Действующий напор, м в. ст.	Уставка регулятора давления до себя, м в. ст.
ПНС-2	45	114	–	–
ПНС-3	80	151	60	79
ПНС-4	52	82	50	55

Данный вариант был принят как основной при разработке наладочных мероприятий.

Наладочные мероприятия для обеспечения допустимых режимов и требуемого качества теплоснабжения потребителей

Основной особенностью, осложняющей наладку тепловых сетей г. Петропавловск-Камчатский, являются большие перепады геодезических отметок потребителей в пределах одного микрорайона и даже одного здания. Данное обстоятельство обусловило необходимость разработки нестандартных подходов к реализации решений по многоступенчатому снижению напоров на сети и у потребителей. Малые значения расходов у отдельных потребителей приводят к значительному остыванию из-за низких скоростей течения теплоносителя. Следовательно, требуется проведение не только гидравлических, но и тепловых расчетов для разработки наладочного режима.

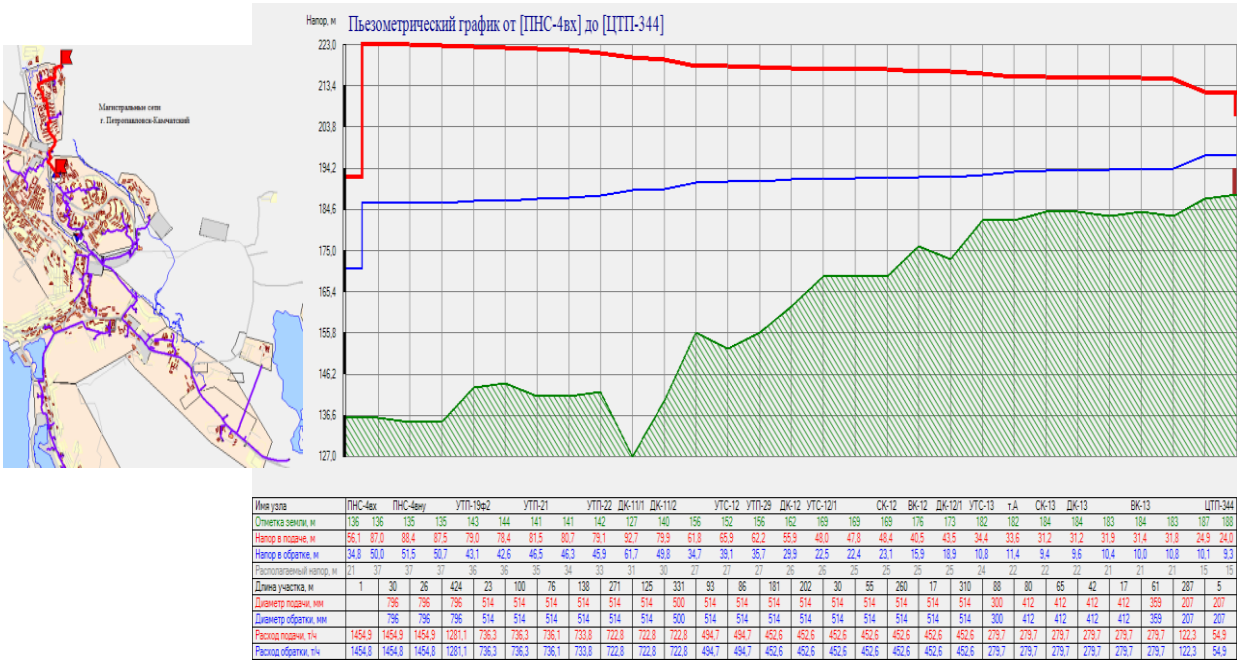
Одним из ключевых аспектов наладочных расчетов является определение мер по компенсации тепловых потерь в сетях для обеспечения потребителей требуемым количеством тепла. Для компенсации теплопотерь в сети могут быть использованы два подхода:

– увеличение расхода теплоносителя при неизменном температурном графике отпуска тепла на источнике;

– переход на повышенный температурный график с переопределением расчетных расходов теплоносителя на потребителей.

Первый метод предпочтительнее, поскольку предполагает корректировку только

одного параметра – расхода, и позволяет работать в рамках утвержденного температурного графика. Корректирующие коэффициенты к расходу рассчитываются индивидуально для каждого абонента, учитывая температуру теплоносителя на его вводе с учетом остывания по длине трубопровода. На рис. 4–8 приведены примеры пьезометрических графиков, демонстрирующие сложность рельефа местности и наладочных мероприятий для обеспечения допустимых режимов и требуемого качества теплоснабжения потребителей.



Имя узла	ПНС-4вх	ПНС-4вну	УТП-19ф2	УТП-21	УТП-22	ДК-11/1	ДК-11/2	УТС-12	УТП-29	ДК-12	УТС-12/1	СК-12	ВК-12	ДК-12/1	УТС-13	т.А	СК-13	ДК-13	ВК-13	ЦТП-344
Отметка земли, м	136	136	135	135	143	144	141	141	142	127	140	156	152	156	162	169	169	169	176	173	182	182	184	184	183	184	183	187	188
Напор в подаче, м	96,1	87,0	88,4	87,5	79,0	78,4	81,5	80,7	79,1	92,7	79,9	61,8	65,9	62,2	55,9	48,0	47,8	48,4	40,5	43,5	34,4	33,6	31,2	31,2	31,9	31,4	31,8	24,9	24,0
Напор в обратке, м	34,8	50,0	51,5	50,7	43,1	42,6	46,5	46,3	45,9	61,7	49,8	34,7	39,1	35,7	29,9	22,5	22,4	23,1	15,9	18,9	10,8	11,4	9,4	9,6	10,4	10,0	10,8	10,1	9,3
Располагаемый напор, м	21	37	37	37	36	36	35	34	33	31	30	27	27	27	26	26	25	25	25	25	24	22	22	22	21	21	21	15	15
Длина участка, м	1	30	26	424	23	100	76	138	271	125	331	93	86	181	202	30	55	260	17	310	88	80	65	42	17	61	287	5	
Диаметр подачи, мм		796	796	796	514	514	514	514	514	514	500	514	514	514	514	514	514	514	514	514	300	412	412	412	412	359	207	207	
Диаметр обратки, мм		796	796	796	514	514	514	514	514	514	500	514	514	514	514	514	514	514	514	514	300	412	412	412	412	359	207	207	
Расход подачи, т/ч	1454,9	1454,9	1454,9	1281,1	736,3	736,3	736,1	733,8	722,8	722,8	722,8	494,7	494,7	452,6	452,6	452,6	452,6	452,6	452,6	452,6	279,7	279,7	279,7	279,7	279,7	279,7	122,3	54,9	
Расход обратки, т/ч	1454,8	1454,8	1454,8	1281,1	736,3	736,3	736,1	733,8	722,8	722,8	722,8	494,7	494,7	452,6	452,6	452,6	452,6	452,6	452,6	452,6	279,7	279,7	279,7	279,7	279,7	279,7	122,3	54,9	

Рис. 4. Пьезометрический график зимнего режима по магистрали ТМ-3 от Камчатской ТЭЦ-2. Зона после ПНС-4. Схема секционирования с закольцовкой
Fig. 4. Piezometric graph of winter conditions along the HM-3 main line from Kamchatka CHPP-2. Zone after pumping station-4. Sectionalization scheme with loopback



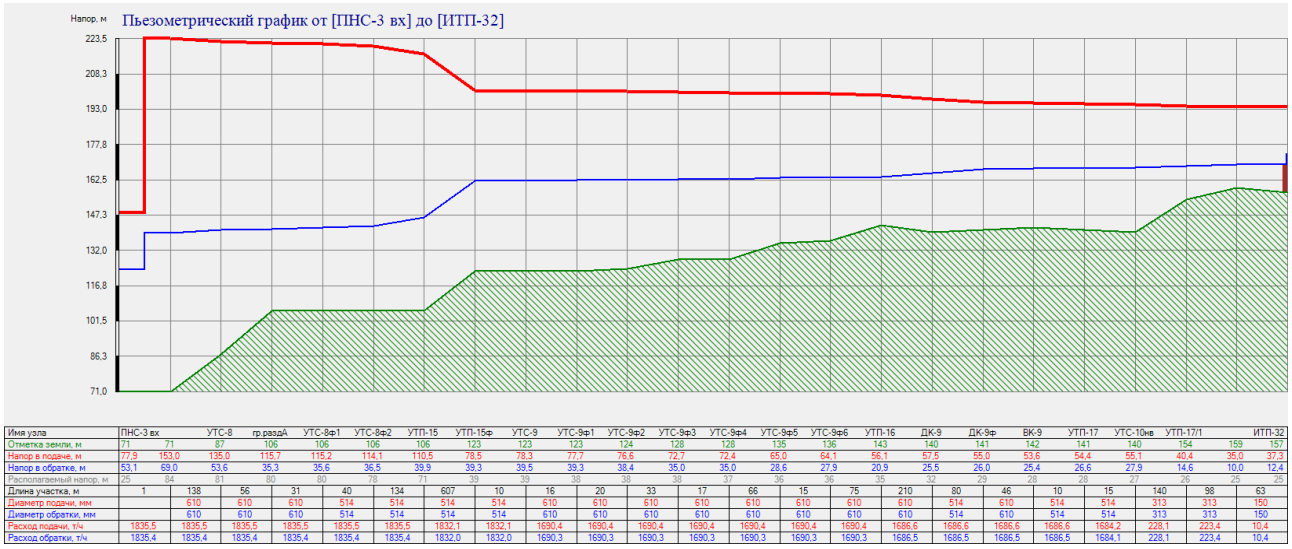
Имя узла	ПНС-3 вх		УТС-8	гр.раздА	УТС-8ф1	УТС-8ф2	УТП-15	УТП-15ф	УТС-9		ЦТП-327-2
Отметка земли, м	71	71	87	106	106	106	106	123	123	123	121
Напор в подаче, м	77,9	153,0	135,0	115,7	115,2	114,1	110,5	78,5	78,3	77,3	78,4
Напор в обратке, м	53,1	69,0	53,6	35,3	35,6	36,5	39,9	39,3	39,5	40,3	41,8
Располагаемый напор, м	25	84	81	80	80	78	71	39	39	37	37
Длина участка, м	1	138	56	31	40	134	607	10	10	5	
Диаметр подачи, мм		610	610	610	514	514	514	514	150	150	
Диаметр обратки, мм		610	610	610	514	514	514	514	150	150	
Расход подачи, т/ч	1835,5	1835,5	1835,5	1835,5	1835,5	1835,5	1832,1	1832,1	141,7	95,7	
Расход обратки, т/ч	1835,4	1835,4	1835,4	1835,4	1835,4	1835,4	1832,0	1832,0	141,7	95,7	

Рис. 5. Пьезометрический график по магистрали ТМ-3 от ПНС-3 до ввода в ЦТП-327, находящийся в худших условиях среди ЦТП по напору в подающем трубопроводе
Fig. 5. Piezometric graph along the main line HM-3 from pumping station-3 to central heating station-327, which is in the worst conditions among the heating stations in terms of pressure in the supply pipeline

Оценка энергоэффективности полученного результата

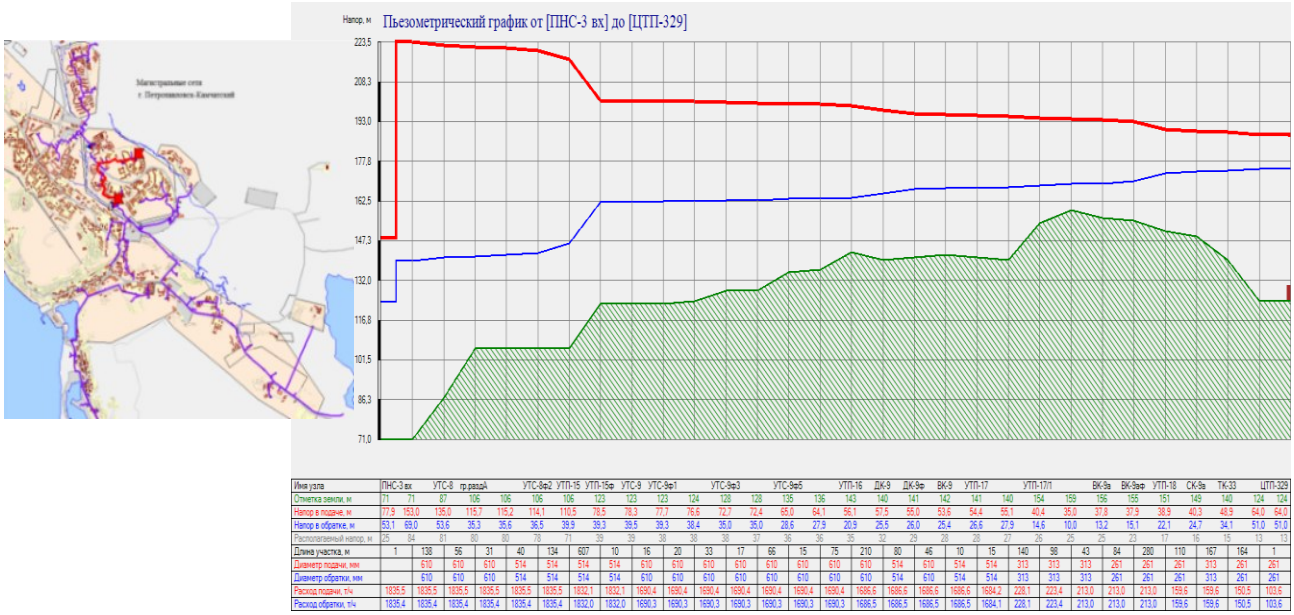
Для анализа режима важно оценить отклонение текущего параметра режима элемента ТСС от требуемого значения. К основным значениям параметров режима у диктующих потребителей, которые определяют качество теплоснабжения, относятся: давление в подающей магистрали на вводе в потребитель, давление в обратном трубопроводе перед системой отопления потребителя, располагаемый напор на вводе в потребитель, температура внутреннего воздуха отапливаемых помещений, температура воды на ГВС в местах водоразбора.

Величина отклонения этих параметров от требуемых значений позволяет количественно оценить «недоотпуск» тепла, пропускную способность тепловой сети и потенциал энергосбережения [25, 26].



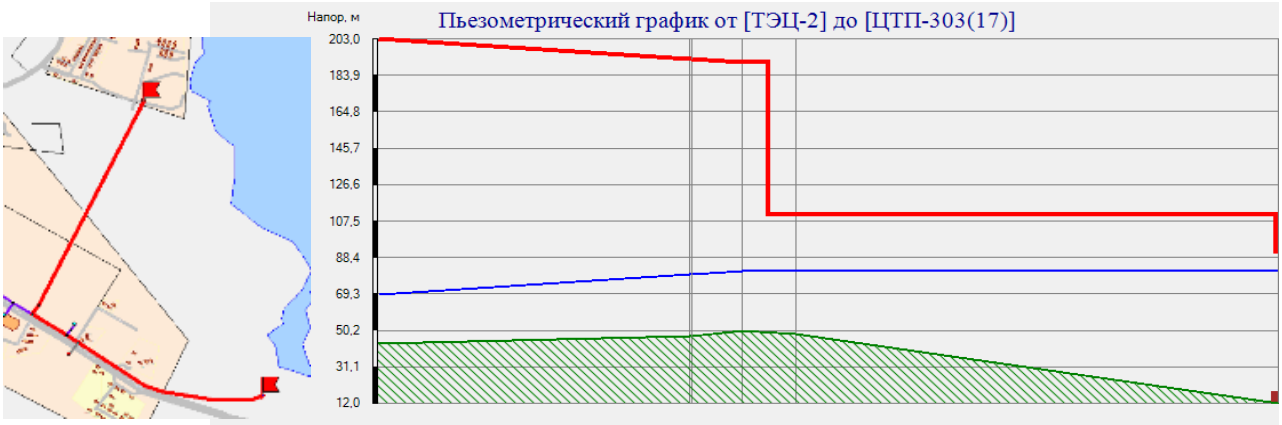
Имя узла	ПНС-3 вх		УТС-8	гр.раздА	УТС-8ф1	УТС-8ф2	УТП-15	УТП-15ф	УТС-9	УТС-9ф1	УТС-9ф2	УТС-9ф3	УТС-9ф4	УТС-9ф5	УТС-9ф6	УТП-16	ДК-9	ДК-9ф	ВК-9	УТП-17	УТС-10нв	УТП-17/1		ИТП-32
Отметка земли, м	71	71	87	106	106	106	106	123	123	123	124	128	128	135	136	143	140	141	142	141	140	154	159	157
Напор в подаче, м	77,9	153,0	135,0	115,7	115,2	114,1	110,5	78,5	78,3	77,7	76,6	72,7	72,4	65,0	64,1	56,1	57,5	55,0	53,6	54,4	55,1	40,4	35,0	37,2
Напор в обратке, м	53,1	69,0	53,6	35,3	35,6	36,5	39,9	39,3	39,5	39,3	38,4	35,0	35,0	28,6	27,9	20,9	25,5	26,0	25,4	26,6	27,9	14,6	10,0	12,4
Располагаемый напор, м	25	84	81	80	80	78	71	39	39	38	38	38	37	36	36	35	32	29	28	28	27	26	25	25
Длина участка, м	1	138	56	31	40	134	607	10	16	20	33	17	66	15	75	210	80	46	10	15	140	98	63	
Диаметр подачи, мм		610	610	610	514	514	514	514	610	610	610	610	610	610	610	610	610	514	610	514	514	313	313	150
Диаметр обратки, мм		610	610	610	514	514	514	514	610	610	610	610	610	610	610	610	610	514	610	514	514	313	313	150
Расход подачи, т/ч	1835,5	1835,5	1835,5	1835,5	1835,5	1835,5	1832,1	1832,1	1690,4	1690,4	1690,4	1690,4	1690,4	1690,4	1690,4	1686,6	1686,6	1686,6	1686,6	1684,2	228,1	223,4	10,4	
Расход обратки, т/ч	1835,4	1835,4	1835,4	1835,4	1835,4	1835,4	1832,0	1832,0	1690,3	1690,3	1690,3	1690,3	1690,3	1690,3	1690,3	1686,5	1686,5	1686,5	1686,5	1684,1	228,1	223,4	10,4	

Рис. 6. Пьезометрический график по магистрали ТМ-3 от ПНС-3 до ввода в потребитель ИТП-32, диктующий по напору на вводе в обратном трубопроводе (на залив)
Fig. 6. Piezometric graph along the main line HM-3 from pumping station-3 to the input to the consumer individual heating station-32, which dictates the pressure at the input in the return pipeline (to the bay)



Имя узла	ПНС-3 вх		УТС-8	гр.раздА		УТС-8ф2	УТП-15	УТП-15ф	УТС-9	УТС-9ф1		УТС-9ф3		УТС-9ф5		УТП-16	ДК-9	ДК-9ф	ВК-9	УТП-17		УТП-17/1		ВК-9а	ВК-9аф	УТП-18	СК-9а	ТК-33	ЦТП-329
Отметка земли, м	71	71	87	106	106	106	106	123	123	123	124	128	128	135	136	143	140	141	142	141	140	154	159	156	155	151	149	140	124	124
Напор в подаче, м	77,9	153,0	135,0	115,7	115,2	114,1	110,5	78,5	78,3	77,7	76,6	72,7	72,4	65,0	64,1	56,1	57,5	55,0	53,6	54,4	55,1	40,4	35,0	37,8	37,9	38,9	40,3	48,9	54,0	54,0
Напор в обратке, м	53,1	69,0	53,6	35,3	35,6	36,5	39,9	39,3	39,5	39,3	38,4	35,0	35,0	28,6	27,9	20,9	25,5	26,0	25,4	26,6	27,9	14,6	10,0	13,2	15,1	22,1	24,7	34,1	51,0	51,0
Располагаемый напор, м	25	84	81	80	80	78	71	39	39	38	38	38	37	36	36	35	32	29	28	28	27	26	25	25	23	17	16	15	13	13
Длина участка, м	1	138	56	31	40	134	607	10	16	20	33	17	66	15	75	210	80	46	10	15	140	98	43	84	280	110	167	164	1	
Диаметр подачи, мм		610	610	610	514	514	514	514	610	610	610	610	610	610	610	610	514	610	514	514	313	313	313	261	261	261	313	261	261	
Диаметр обратки, мм		610	610	610	514	514	514	514	610	610	610	610	610	610	610	610	514	610	514	514	313	313	313	261	261	261	313	261	261	
Расход подачи, т/ч	1835,5	1835,5	1835,5	1835,5	1835,5	1835,5	1832,1	1832,1	1690,4	1690,4	1690,4	1690,4	1690,4	1690,4	1690,4	1686,6	1686,6	1686,6	1686,6	1684,2	228,1	223,4	213,0	213,0	213,0	159,6	159,6	150,5	103,6	
Расход обратки, т/ч	1838,4	1835,4	1835,4	1835,4	1838,4	1835,4	1832,0	1832,0	1690,3	1690,3	1690,3	1690,3	1690,3	1690,3	1690,3	1686,5	1686,5	1686,5	1686,5	1684,1	228,1	223,4	213,0	213,0	213,0	159,6	159,6	150,5	103,6	

Рис. 7. Пьезометрический график по магистрали ТМ-3 от ПНС-3 до ввода в ЦТП-329, диктующий по располагаемому напору
Fig. 7. Piezometric graph along the main line HM-3 from pumping station-3 to the input to central heating station-329, dictating the available pressure



Имя узла	ТЭЦ-2		УТП-2	УТП-3	Н-19/1		ЦТП-303(17)
Отметка земли, м	43		47	50	48		12
Напор в подаче, м	160,0		145,4	140,7	63,0		98,8
Напор в обратке, м	26,0		32,6	31,2	33,2		69,4
Располагаемый напор, м	134		113	110	30		29
Длина участка, м		1331		217	230	2060	
Диаметр подачи, мм		796		796	359	261	
Диаметр обратки, мм		796		796	359	261	
Расход подачи, т/ч		3214,6			18,7	18,7	
Расход обратки, т/ч		3213,9			18,7	18,7	

Рис. 8. Пьезометрический график по магистрали ТМ-3 от КТЭЦ-2 до ввода в ЦТП-303. Дросселирование на 73 м вод ст. на участке тепловой сети в камере УТП-3
Fig. 8. Piezometric graph along the main line HM-3 from CHPP-2 to the input to central heating station-303. Throttling at 73 m of water station on the section of the heating network in the UTP-3 heating chamber

Экономическая эффективность при организации нормальных эксплуатационных режимов достигается благодаря снижению следующих показателей:

– циркуляционные расходы сетевой воды;
– слив воды населением;
– тепловые потери в сети;
– затраты на топливо;
– затраты электроэнергии на перекачку теплоносителя;
– оптимизация графиков отпуска тепла от источников.

При организации послеаварийных режимов в условиях дефицита тепловой энергии экономическая эффективность достигается за счет минимизации ущербов от аварийных ситуаций и сокращения времени восстановления нормальных режимов.

При диспетчерском управлении экономическая эффективность достигается за счет тех же факторов, но путем повышения оперативности мероприятий по поддержанию запланированных режимов и минимизации последствий аварий.

На рис. 9 показаны пьезометрические графики магистральных сетей ТМ-2 и ТМ-3 в существующем режиме. Магистраль ТМ-3 от КТЭЦ-2 разветвляется на два луча в камере УТС-5: в сторону УТ-22 и в сторону ЦТП-44. В сети работает две насосных станции ПНС-3 и ПНС-4, в которых на обратном трубопроводе установлены регуляторы давления (РД) для обеспечения подпора потребителей верхней зоны.

Насосные разделяют ТМ-3 на три зоны, в каждой из которых были определены диктующие по всем основным параметрам узлы и необходимые значения управляющих параметров на ИТ и после НС.

Сети от КТЭЦ-1 и КТЭЦ-2 работают изолировано. На обратном трубопроводе сети от КТЭЦ-1 установлен регулятор давления, который поддерживает давление для залива потребителей.

В соответствии с проектом на перспективу сооружается тепломагистраль между камерами УТ-22 и ВК-32/33, которая закольцовывает магистральную сеть (рис. 10.).

Для обеспечения требуемых располагаемых напоров у потребителей зоны КТЭЦ-1 необходима реконструкция и запуск в работу ПНС-2, которая работает на подающей магистрали в зимний период и переключается на обратную магистраль в реверсивном режиме в летний период (рис. 11). Как видно из пьезометра на рис. 10, располагаемые напоры в месте стыковки тепломагистралей от КТЭЦ-1 и КТЭЦ-2 в УТС-5 значительно отличаются, поэтому фактически закольцовка позволяет только переключать часть потребителей с ТЭЦ-2 на ТЭЦ-1, но не дает возможности работать источникам на общие тепловые сети.

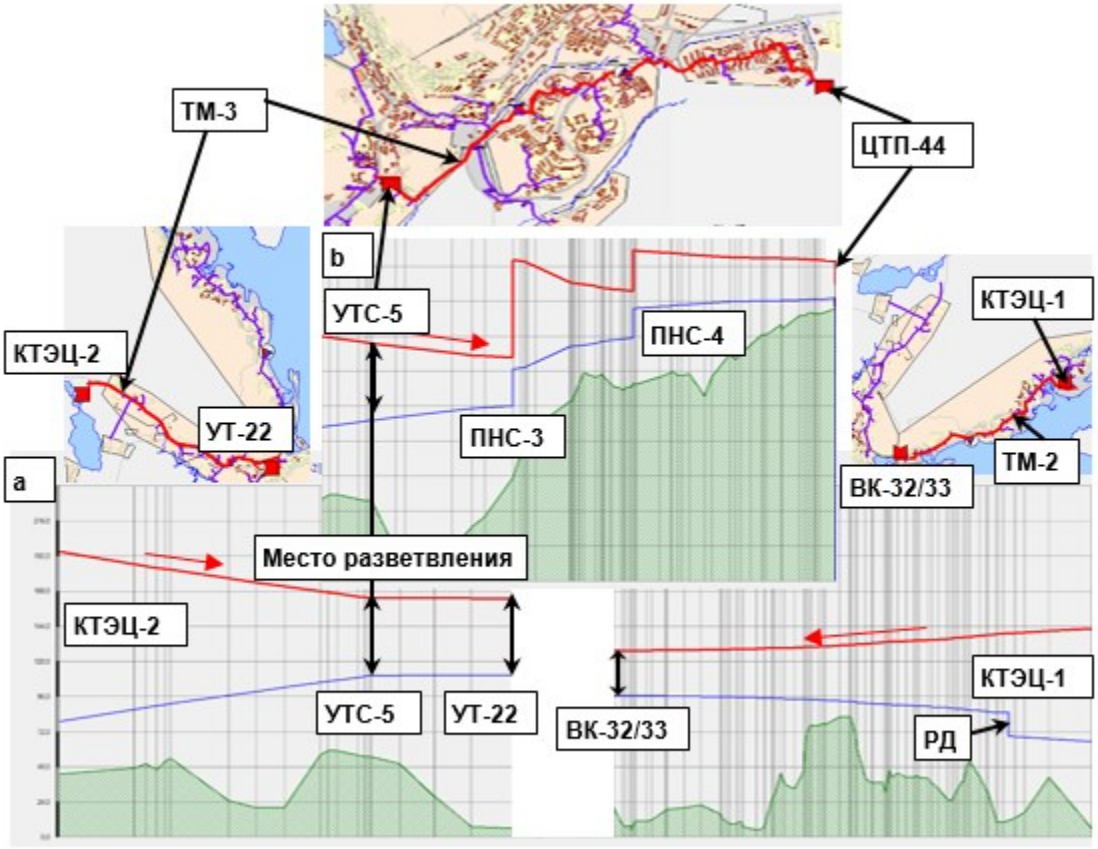


Рис. 9. Пьезометрические графики магистральных сетей в существующем зимнем режиме: a – от КТЭЦ-2 до УТ-22 и от КТЭЦ-1 до ВК-32/33; b – на ответвлении магистрали ТМ-3 от УТС-5 до ЦТП-44. Сверху над каждым пьезометром приведены схемы сети на плане города
Fig. 9. Piezometric graphs of main networks in the existing winter operating condition: a – from Kamchatka CHPP-2 to heat point UT-22 and from Kamchatka CHPP-1 to heat point VK-32/33; b – on the branch of the HM-3 main line from heat point UTS-5 to central heating station-44. Above each piezometer, network diagrams are shown on the city plan

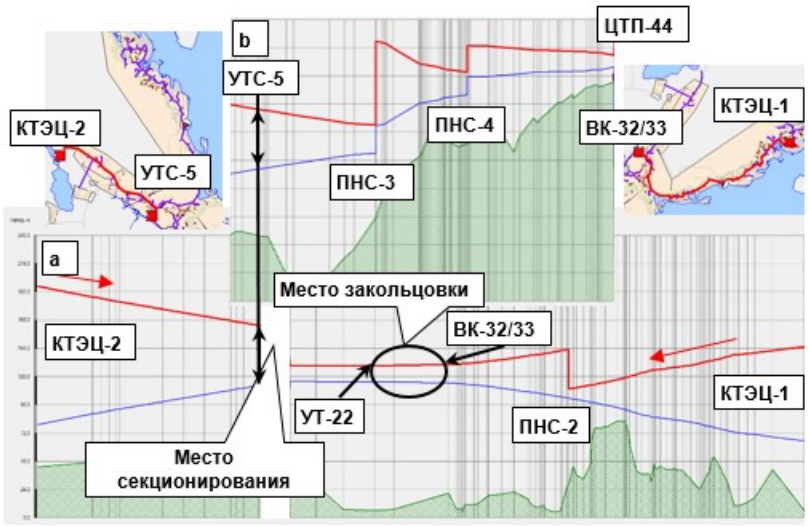


Рис. 10. Пьезометрические графики перспективного зимнего режима: a – ТМ-2 и ТМ-3 в закольцовке; b – ответвление по ТМ-3 от УТС-5 до ЦТП-44
Fig. 10. Piezometric graphs of the prospective winter operating condition: a – HM-2 main line and HM-3 main line in a loop; b – branch along HM-3 main line from heat point UTS-5 to central heating station-44

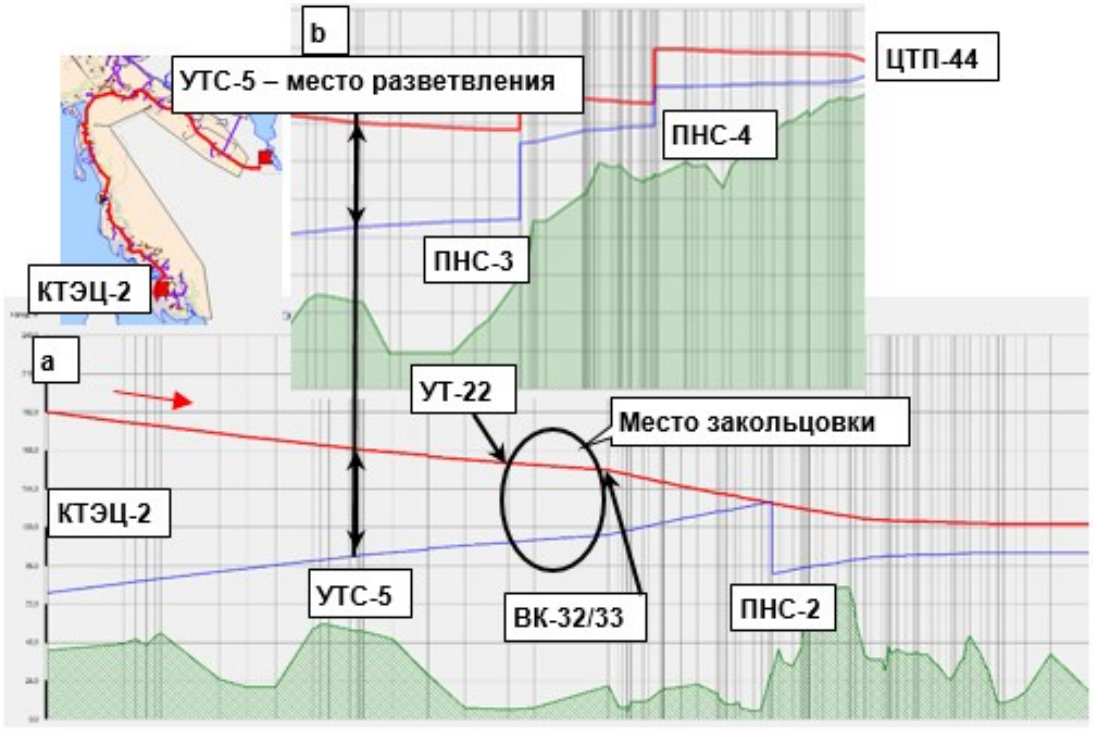


Рис. 11. Пьезометрические графики перспективного летнего режима: a – ТМ-2 и ТМ-3 в закольцовке; b – ответвление по ТМ-3 от УТС-5 до ЦТП-44
Fig. 11. Piezometric graphs of the prospective summer operating condition: a – HM-2 main line and HM-3 main line in a loop; b – branch along HM-3 main line from heat point UTS-5 to central heating station-44

В летнем режиме (рис. 11) после реконструкции появляется возможность вывода из эксплуатации КТЭЦ-1 и снабжения всех потребителей только от КТЭЦ-2, что позволяет значительно сократить потребление топлива и затрат электроэнергии на перекачку теплоносителя. Следует отметить, что в перспективном режиме нет необходимости дросселирования напора в обратном трубопроводе ТМ-2 от КТЭЦ-1, что сократит потери энергии на дросселирование. Уменьшаются напоры в подающем трубопроводе сети, что сократит утечки теплоносителя. В перспективном режиме увеличивается пропускная способность сетей. Появляется возможность увеличения расходов теплоносителя по ТМ-2 от КТЭЦ-1 с 835 до 1170 т/ч, и по ТМ-3 от ТЭЦ-2 с 2845 до 2995 т/ч.

В сумме расходы увеличатся на 13,2 % с 3680 до 4165 т/ч, что позволяет покрыть дефицит тепла, который существовал в существующем режиме. Установка дроссельных устройств у потребителей и в сети с параметрами, вычисленными в результате расчета, обеспечит правильное распределение потоков теплоносителя в сети. Это позволит нормализовать скорости течения теплоносителя и существенно сократить тепловые потери в сети и сливы воды населением.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

1. Сложность проведения экспертизы проекта и разработки эксплуатационных режимов требует привлечения информационно-вычислительных технологий [27–29].

2. Проведенный с помощью ИВС «АНГАРА-ТС» анализ режимов тепловых сетей позволил выявить узкие места и определить количественную оценку уровня снабжения потребителей микрорайонов с учетом закольцовки и перспективных нагрузок.

3. При разработке и организации режимов с учетом новых условий эксплуатации определены минимально необходимые действующие напоры насосов, установленных на источниках и в подкачивающих насосных станциях, а также давлений подпитки на источниках тепла для обеспечения требуемого уровня теплоснабжения потребителей.

4. Экспертиза проекта закольцовки показала, что при поддержании параметров в узлах регулирования, определенных расчетами для организации режимов, и выполнении разработанных наладочных мероприятий в нормальном режиме все ЦТП будут обеспечены требуемым количеством тепла, а значит, обеспечен

требуемый уровень теплоснабжения, все параметры режимов находятся в пределах допустимых значений, что исключает разрывы трубопроводов от превышения давления, подсосы воздуха в сетях, опорожнения и раздавливания местных систем теплопотребления и повышает надежность ТСС, пропускная способность сетей увеличивается на 13,2 %, в случае возникновения нештатной ситуации город будет обеспечен требуемым количеством тепла от одной или другой ТЭЦ, что существенно повышает надежность системы, в летний период за счет остановки ТЭЦ-1 значительно снижается потребление топлива, и соответственно затраты на него, сокращаются, циркуляционные расходы и затраты электроэнергии на перекачку теплоносителя, установка дроссельных устройств у потребителей и в сети с вычисленными в результате расчета параметрами обеспечит правильное распределение потоков теплоносителя в сети. Это обстоятельство позволит нормализовать скорости течения теплоносителя и существенно сократить тепловые потери в сети и сливы воды населением.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Tokarev V.V., Shalaginova Z.I. Technique of Multilevel Adjustment Calculation of the Heat Hydraulic Mode of the Major Heat Supply Systems with The Intermediate Control Stages // Thermal Engineering. 2016. Vol. 63. P. 68–77. https://doi.org/10.1134/S0040601516010110.
2. Guelpa E., Toro C., Sciacovelli A., Melli R., Sciubba E., Verda V. Optimal Operation of Large District Heating Networks Through Fast Fluid-Dynamic Simulation // Energy. 2016. Vol. 102. P. 586–595. https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.02.058.
3. Vesterlund M., Toffolo A., Dahl J. Optimization of Multi-Source Complex District Heating Network, A Case Study // Energy. 2017. Vol. 126. P. 53–63. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.018.
4. Guelpa E., Sciacovelli A., Verda V. Thermo-Fluid Dynamic Model of Large District Heating Networks for The Analysis of Primary Energy Savings // Energy. 2019. Vol. 184. P. 34–44. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.177.
5. Vesterlund M., Dahl J. A Method for The Simulation and Optimization of District Heating Systems with Meshed Networks // Energy Conversion and Management. 2015. Vol. 89. P. 555–567. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.10.002.
6. Di Nardo A., Cavallo A., Di Natale M., Greco R., Santonastaso G.F. Dynamic Control of Water Distribution System Based On Network Partitioning // Procedia Engineering. 2016. Vol. 154. P. 1275–1282. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.460.
7. Schweiger G., Larsson P.-O., Magnusson F., Lauenburg P., Velut S. District Heating and Cooling Systems – Framework for Modelica-Based Simulation and Dynamic Optimization // Energy. 2017. Vol. 137. P. 566–578. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.115.
8. Gilani B.S., Bachmann M., Kriegel M. Evaluation of The Temperature Regimes of Multi-Level Thermal Networks in Urban Areas Through Exergy Analysis // Energy Procedia. 2017. Vol. 122. P. 385–390. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.424.
9. Shoujun Zhou, Haiming Li, Pu Gong, Maocheng Tian Hydraulic Modeling of Double-Source and Ring-Shaped Heating Networks // Applied Thermal Engineering. 2017. Vol. 119. P. 215–221. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.03.035.
10. Yaran Wang, Shijun You, Huan Zhang, Wandong Zheng, Xuejing Zheng, Qingwei Miao Hydraulic Performance Optimization of Meshed District Heating Network with Multiple Heat Sources // Energy. 2017. Vol. 126. P. 603–621. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.044.
11. Tarasevich V.V., Lee A.K., Moroz A.A. Imitation of The Hydraulic Devices Operations Within the Complex Pipe Systems // Proceedings of 2013 IAHR Congress. 2013. P. 1–7.
12. Sartor K., Thomas D., Dewallef P. A Comparative Study for Simulating Heat Transport in Large District Heating Networks // International Journal of Heat and Technology. 2018. Vol. 36. Iss. 1. P. 301–308. https://doi.org/10.18280/ijht.360140.
13. Sartor K., Dewalef P. Experimental Validation of Heat Transport Modeling in District Heating Net-Works // Energy. 2017. Vol. 137. P. 961–968. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.02.161.
14. Pengfei Jie, Zhe Tian, Shanshan Yuan, Neng Zhu Modeling the Dynamic Characteristics of a District Heating Net-Work // Energy. 2012. Vol. 39. Iss. 1. P. 126–134. https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.01.055.
15. Chertkov M.S., Novitsky N.N. Thermal Transients in District Heating Systems // Energy. 2019. Vol. 184. P. 22–33. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.049.
16. Токарев В.В., Новицкий Н.Н., Шалагинова З.И., Баринова С.Ю. Информационно-вычислительный комплекс для расчета и анализа режимов теплоснабжающих систем // Гидравлические цепи. Развитие теории и приложения. Новосибирск: Наука, 2000. С. 138–154. EDN: RUGDMB.
17. Новицкий Н.Н., Токарев В.В., Шалагинова З.И., Алексеев А.В., Гребнева О.А., Баринова С.Ю. Информационно-вычислительный комплекс «АНГАРА-ТС» для автоматизации расчета и анализа эксплу-

атационных режимов при управлении крупными многоконтурными системами теплоснабжения // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. № 11. С. 126–144. https://doi.org/10.21285/1814-3520-2018-11-126-144. EDN: YPWUHZ.
18. Stennikov V.A., Novitsky N.N., Alexeev A.V., Grebneva O.A., Lutsenko A.V., Penkovsky A.V. et al. Hierarchical Modeling of Analysis and Control of Operating Conditions of Pipeline Energy Systems // Hierarchical Modeling of Energy Systems. Irkutsk: Elsevier, 2023. P. 379–455. https://doi.org/10.1016/B978-0-44-313917-8.00015-8.
19. Алексеев А.В., Новицкий Н.Н., Токарев В.В., Шалагинова З.И. Многоуровневое моделирование режимов больших теплоснабжающих систем методами теории гидравлических цепей // Трубопроводные системы энергетики. Развитие теории и методов математического моделирования и оптимизации. Новосибирск: Наука, 2008. С. 211–228. EDN: RRWYJP.
20. Novitsky N.N., Alekseev A.V., Grebneva O.A., Lutsenko A.V., Tokarev V.V., Shalaginova Z.I. Multilevel Modelling and Optimization of Large-Scale Pipeline Systems Operation // Energy. 2019. Vol. 184. P. 151–164. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.070.
21. Shalaginova Z.I., Tokarev V.V. Applied Problems and Methodological Approaches to Planning and Implementation of Operating Conditions at District Heating Systems // Thermal Engineering. 2019. Vol. 66. Iss. 10. P. 714–729. https://doi.org/10.1134/S0040601519100057.
22. Токарев В.В., Шалагинова З.И. Опыт применения новых технологий для организации режимов крупных теплоснабжающих систем // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. № 12. С. 240–248. EDN: ONXUXB.
23. Novitsky N.N., Shalaginova Z.I., Tokarev V.V., Alekseev A.V., Tsevegjav U. Application Experience of the Theory Hydraulic Circuits Methods and Modern Technologies for Organizing Operating Conditions of Mongolian District Heating Systems // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 397. P. 1–6. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339704004.
24. Сидлер В.Г., Шалагинова З.И. Математическая модель для исследования режимов функционирования систем теплоснабжения // Современные проблемы системных исследований в энергетике (г. Иркутск, 02–06 июля 1990 г.). Иркутск, 1990. С. 106–115. EDN: RXQCXX.
25. Атавин А.А., Новицкий Н.Н., Сухарев М.Г., и др. Трубопроводные системы энергетики. Математические и компьютерные технологии интеллектуализации. Новосибирск: Наука, 2017. 384 с. EDN: YLMSLI.
26. Алексеев А.В., Гребнева О.А., Новицкий Н.Н., Токарев В.В., Шалагинова З.И. Математические модели и методы для оценки и реализации потенциала энергосбережения при управлении режимами теплоснабжающих систем // Исследования и разработки Сибирского отделения Российской академии наук в области энергоэффективных технологий. Новосибирск: Научно-исследовательский институт молекулярной биологии и биофизики, 2009. С. 38–49. EDN: RSIBQJ.
27. Novitsky N.N., Shalaginova Z.I., Alekseev A.A., V.V. Tokarev, Grebneva O.A., Lutsenko A.V. et al. Smarter Smart District Heating // Proceedings of the IEEE. 2020. Vol. 108. Iss. 9. P. 1596–1611. https://doi.org/10.1109/JPROC.2020.2990490.
28. Novitsky N.N., Shalaginova Z.I., V.V. Tokarev, Alekseev A.A., Tsevegjav U., Oros P. et al. Current Issues of Russian and Mongolian District Heating Systems and Scientific and Methodological Lines for Solving Them // Energy Systems Research. 2022. Vol. 5. Iss. 3. P. 27–43. http://doi.org/10.38028/esr.2022.03.0005.
29. Novitskii N.N., Shalaginova Z.I., Alekseev A.V., Grebneva O.A., Tokarev V.V., Lutsenko A.V. et al. Intellectualization of Heat-Supply Systems: Current State, Trends and Tasks (A Review) // Thermal Engineering. 2022. Vol. 69. P. 367–383. https://doi.org/10.1134/S004060152204005X.

REFERENCES

1. Tokarev V.V., Shalaginova Z.I. Technique of Multilevel Adjustment Calculation of the Heat Hydraulic Mode of the Major Heat Supply Systems with The Intermediate Control Stages. *Thermal Engineering.* 2016;63:68-77. https://doi.org/10.1134/S0040601516010110.
2. Guelpa E., Toro C., Sciacovelli A., Melli R., Sciubba E., Verda V. Optimal Operation of Large District Heating Networks Through Fast Fluid-Dynamic Simulation. *Energy.* 2016;102:586-595. https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.02.058.
3. Vesterlund M., Toffolo A., Dahl J. Optimization of Multi-Source Complex District Heating Network, A Case Study. *Energy.* 2017;126:53-63. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.018.
4. Guelpa E., Sciacovelli A., Verda V. Thermo-Fluid Dynamic Model of Large District Heating Networks for The Analysis of Primary Energy Savings. *Energy.* 2019;184:34-44. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.177.
5. Vesterlund M., Dahl J. A Method for The Simulation and Optimization of District Heating Systems with Meshed Networks. *Energy Conversion and Management.* 2015;89:555-567. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.10.002.

6. Di Nardo A., Cavallo A., Di Natale M., Greco R., Santonastaso G.F. Dynamic Control of Water Distribution System Based On Network Partitioning. *Procedia Engineering.* 2016;154:1275-1282. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.460.
7. Schweiger G., Larsson P.-O., Magnusson F., Lauenburg P., Velut S. District Heating and Cooling Systems – Framework for Modelica-Based Simulation and Dynamic Optimization. *Energy.* 2017;137:566-578. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.115.
8. Gilani B.S., Bachmann M., Kriegel M. Evaluation of The Temperature Regimes of Multi-Level Thermal Networks in Urban Areas Through Exergy Analysis. *Energy Procedia.* 2017;122:385-390. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.424.
9. Shoujun Zhou, Haiming Li, Pu Gong, Maocheng Tian Hydraulic Modeling of Double-Source and Ring-Shaped Heating Networks. *Applied Thermal Engineering.* 2017;119:215-221. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.03.035.
10. Yaran Wang, Shijun You, Huan Zhang, Wandong Zheng, Xuejing Zheng, Qingwei Miao Hydraulic Performance Optimization of Meshed District Heating Network with Multiple Heat Sources. *Energy.* 2017;126:603-621. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.044.
11. Tarasevich V.V., Lee A.K., Moroz A.A. Imitation of The Hydraulic Devices Operations Within the Complex Pipe Systems. *Proceedings of 2013 IAHR Congress.* 2013;1-7.
12. Sartor K., Thomas D., Dewallef P. A Comparative Study for Simulating Heat Transport in Large District Heating Networks. *International Journal of Heat and Technology.* 2018;36(1):301-308. https://doi.org/10.18280/ijht.360140.
13. Sartor K., Dewalef P. Experimental Validation of Heat Transport Modeling in District Heating Net-Works. *Energy.* 2017;137:961-968. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.02.161.
14. Pengfei Jie, Zhe Tian, Shanshan Yuan, Neng Zhu Modeling the Dynamic Characteristics of a District Heating Net-Work. *Energy.* 2012;39(1):126-134. https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.01.055.
15. Chertkov M.S., Novitsky N.N. Thermal Transients in District Heating Systems. *Energy.* 2019;184:22-33. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.049.
16. Tokarev V.V., Novitskii N.N., Shalaginova Z.I., Barinova S.Yu. Information and Computing Complex for Calculation and Analysis of Heat Supply Systems Modes. In: *Hydraulic Circuits. Development of Theory and Applications.* Novosibirsk: Science, 2000. P. 138–154. (In Russ.). EDN: RUGDMB.
17. Novitsky N.N., Tokarev V.V., Shalaginova Z.I., Alekseev A.V., Grebneva O.A., Barinova S.Y. Information Computing Complex “Angara-Hs” For Calculation and Analysis of Operating Conditions of Large Multiloop Heat Supply Systems Under Control. *Proceedings of Irkutsk State Technical University.* 2018;22(11):126-144. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/1814-3520-2018-11-126-144. EDN: YPWUHZ.
18. Stennikov V.A., Novitsky N.N., Alexeev A.V., Grebneva O.A., Lutsenko A.V., Penkovsky A.V. et al. Hierarchical Modeling of Analysis and Control of Operating Conditions of Pipeline Energy Systems. In: *Hierarchical Modeling of Energy Systems.* Irkutsk: Elsevier, 2023. P. 379–455. https://doi.org/10.1016/B978-0-44-313917-8.00015-8.
19. Alekseev A.V., Novitskii N.N., Tokarev V.V., Shalaginova Z.I. Multilevel Modeling of Large Heat Supply Systems Using Methods of Hydraulic Circuit Theory. In: *Pipeline Systems of Energy. Development of The Theory and Methods of Mathematical Modeling and Optimization.* Novosibirsk: Nauka, 2008. P. 211–228. (In Russ.). EDN: RRWYJP.
20. Novitsky N.N., Alekseev A.V., Grebneva O.A., Lutsenko A.V., Tokarev V.V., Shalaginova Z.I. Multilevel Modelling and Optimization of Large-Scale Pipeline Systems Operation. *Energy.* 2019;184:151-164. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.070.
21. Shalaginova Z.I., Tokarev V.V. Applied Problems and Methodological Approaches to Planning and Implementation of Operating Conditions at District Heating Systems. *Thermal Engineering.* 2019;66(10):714-729. https://doi.org/10.1134/S0040601519100057.
22. Tokarev V.V., Shalaginova Z.I. Application Experience of New Technologies for Mode Organization of Major Heat Supply Systems. *Proceedings of Irkutsk State Technical University.* 2011;12:240-248. (In Russ.). EDN: ONXUXB.
23. Novitsky N.N., Shalaginova Z.I., Tokarev V.V., Alekseev A.V., Tsevegjav U. Application Experience of the Theory Hydraulic Circuits Methods and Modern Technologies for Organizing Operating Conditions of Mongolian District Heating Systems. *E3S Web of Conferences.* 2023;397:1-6. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339704004.
24. Sidler V.G., Shalaginova Z.I. Mathematical Model for Studying the Modes of Operation of Heat Supply Systems. In: *Sovremennye problemy sistemnykh issledovanii v energetike = Modern Problems of System Research in Power Engineering.* 02–06 July 1990, Irkutsk. Irkutsk; 1990. p. 106–115. (In Russ.). EDN: RXQCXX.
25. Atavin A.A., Novitskii N.N., Sukharev M.G., Chionov A.M., Ovchinnikova T.E., Emelyanov V.A., Korelshtein L.B. et al. *Pipeline Systems of Energy. Mathematical and Computer Technologies of Intellectualization.* Novosibirsk: Nauka, 2017. 384 p. (In Russ.). EDN: YLMSLI.

26. Alekseev A.V., Grebneva O.A., Novitskii N.N., Tokarev V.V., Shalaginova Z.I. Mathematical Models and Methods for Assessing and Implementing the Energy Saving Potential in Managing Heat Supply System Modes. In: *Research and Development of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences in The Field of Energy Efficient Technologies.* Novosibirsk: Research Institute of Molecular Biology and Biophysics, 2009. P. 38–49. (In Russ.). EDN: RSIBQJ.
27. Novitsky N.N., Shalaginova Z.I., Alekseev A.A., V.V. Tokarev, Grebneva O.A., Lutsenko A.V. et al. Smarter Smart District Heating. *Proceedings of the IEEE.* 2020;108(9):1596-1611. https://doi.org/10.1109/JPROC.2020.2990490.
28. Novitsky N.N., Shalaginova Z.I., V.V. Tokarev, Alekseev A.A., Tsevegjav U., Oros P. et al. Current Issues of Russian and Mongolian District Heating Systems and Scientific and Methodological Lines for Solving Them. *Energy Systems Research.* 2022;5(3):27-43. http://doi.org/10.38028/esr.2022.03.0005.
29. Novitskii N.N., Shalaginova Z.I., Alekseev A.V., Grebneva O.A., Tokarev V.V., Lutsenko A.V. et al. Intellectualization of Heat-Supply Systems: Current State, Trends and Tasks (A Review). *Thermal Engineering.* 2022;69:367-383. https://doi.org/10.1134/S004060152204005X.

Информация об авторах

Шалагинова Зоя Ивановна,
к.т.н., доцент,
старший научный сотрудник лаборатории трубопроводных и гидравлических систем,
Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, Россия,
✉e-mail: shalaginova@isem.irk.ru
https://orcid.org/0000-0001-8478-6511
Author ID: 476885

Токарев Вячеслав Вадимович,
к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории трубопроводных и гидравлических систем,
Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, Россия,
e-mail: tslava@isem.irk.ru
https://orcid.org/0000-0002-1250-7541
Author ID: 16853

Information about the authors

Zoya I. Shalaginova,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Senior Researcher of the Laboratory of Pipeline and Hydraulic Systems,
Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
130 Lermontov St., Irkutsk 664033,
Russia,
✉e-mail: shalaginova@isem.irk.ru
https://orcid.org/0000-0001-8478-6511
Author ID: 476885

Vyacheslav V. Tokarev,
Cand. Sci. (Eng.),
Senior Researcher of the Laboratory of Pipeline and Hydraulic Systems,
Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
130 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,
e-mail: tslava@isem.irk.ru
https://orcid.org/0000-0002-1250-7541
Author ID: 16853

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.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

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

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 20.01.2025.
Одобрена после рецензирования 17.02.2025.
Принята к публикации 18.02.2025.

Information about the article

The article was submitted 20.01.2025.
Approved after reviewing 17.02.2025.
Accepted for publication 18.02.2025.

Научная статья
УДК 69.05:004.89
EDN: YHWLLE
DOI: 10.21285/2227-2917-2025-2-336-346

Применение искусственного интеллекта в сфере строительства: преимущества и возможные пути дальнейшего развития

Т.О. Шлепнёва[1]✉, О.В. Никишина[2], Е.С.Дедюхина[3]
[1,2,3]Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Аннотация. Строительная отрасль, как и многие другие отрасли народного хозяйства, переживает переход на цифровизацию и цифровую трансформацию с применением искусственного интеллекта. Этот вопрос наиболее остро возник в последние годы. В современном строительстве существует множество различных факторов, которые могут влиять на стоимость проекта, начиная от выбора материалов и до сложности проектирования. Традиционные методы определения стоимости включают в себя ручные расчеты и использование стандартных ценовых смет, но эти методы не всегда обеспечивают высокую точность и требуют больших затрат времени и ресурсов. Использование искусственного интеллекта в определении стоимости в строительстве может значительно упростить и ускорить процесс. Актуальностью данной темы является цифровизация объектов строительства и применения искусственного интеллекта, который способен учитывать изменения в исходных данных и анализировать связь между различными параметрами проекта, что позволяет прогнозировать затраты на будущие периоды. В последние годы вопросам искусственного интеллекта уделяется достаточное внимание в части разработки и применения виртуальных алгоритмов в проектах, что позволяет оптимизировать процессы строительства на всех этапах жизненного цикла, включая мониторинг качества и безопасности.

Ключевые слова: искусственный интеллект, цифровизация в строительстве, трансформация строительных процессов

***Для цитирования*:** Шлепнёва Т.О., Никишина О.В., Дедюхина Е.С. Применение искусственного интеллекта в сфере строительства: преимущества и возможные пути дальнейшего развития // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 2. С. 336–346. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-336-346. EDN: YHWLLE.

Original article

Application of artificial intelligence in the construction industry: advantages and possible ways of further development

Tatyana O. Shlepneva[1]✉, Olga V. Nikishina[2], Ekaterina S. Dedyukhina[3]
[1,2,3]Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The construction industry, like many other sectors of the national economy, is undergoing a transition to digitalization and digital transformation using artificial intelligence. This issue has emerged most acutely in recent years. In modern construction, there are many different factors that can affect the cost of a project, ranging from the choice of materials to the complexity of the design. Traditional methods of cost determination include manual calculations and the use of standard price estimates, but these methods do not always provide high accuracy and require a lot of time and resources. The use of artificial intelligence in determining the cost in construction can significantly simplify and speed up the process. The relevance of this topic is the digitalization of construction sites and the use of artificial intelligence, which is able to take into account changes in the source data and analyze the relationship between various project parameters, which makes it possible to predict costs for future periods. In recent years, sufficient attention has been paid to artificial intelligence issues in terms of the development and

© Шлепнёва Т.О., Никишина О.В., Дедюхина Е.С., 2025

application of virtual algorithms in projects, which makes it possible to optimize construction processes at all stages of the life cycle, including quality and safety monitoring.

Keywords: artificial intelligence, digitalization in construction, transformation of construction processes

For citation: Shlepneva T.O., Nikishina O.V., Dedyukhina E.S. Application of artificial intelligence in the construction industry: advantages and possible ways of further development. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(2):336-346. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-336-346. EDN: YHWLLE.

ВВЕДЕНИЕ

Применение искусственного интеллекта (ИИ) в строительстве помогает решать важные задачи в проектировании и строительстве. ИИ позволяет оптимизировать процессы и минимизировать затраты: планирование и распределение рабочей силы, распределение машин и механизмов, потребление материальных ресурсов, производительность труда [1]. Использование ИИ имеет ряд преимуществ: возможность прогнозирования изменения стоимости объекта на всех этапах жизненного цикла. При определении цены строительства важным является анализ вариантов возможно-допустимых решений на всех уровнях: техническом, ресурсном, экономическом, нормативно-правовом. В связи с этим необходимо учитывать все возможные риски и угрозы в случае неблагоприятных обстоятельств или несоблюдения правил безопасности на объекте [2]. Алгоритмы использования искусственного интеллекта в строительстве дают возможность задавать необходимые параметры для решения производственных задач от простых к сложным [3]. Однако, несмотря на все преимущества, использование ИИ в определении стоимости строительства объекта также имеет свои ограничения и проблемы. Одной из основных проблем является необходимость наличия большого объема качественных данных для применения искусственного интеллекта. Без достаточного количества информации ИИ не сможет корректно выполнять свои функции и давать точные результаты [3].

МЕТОДЫ

Цифровизация строительства включает в себя огромный спектр инновационных решений, включающих в себя программное обеспечение, электронные устройства, информационные системы для эффективной работы в проектировании, строительстве и эксплуатации, а также ИИ [4]. Этапы внедрения цифровизации в строительстве на всех этапах жизненного цикла объекта представлены на рис. 1.



Рис. 1. Этапы жизненного цикла строительного объекта
Fig. 1. Stages of the construction project life cycle

К преимуществам и достоинствам применения ИИ и нейронных сетей в отрасли строительства можно отнести:

1. Избежание перерасхода ресурсов (средств).

Искусственный интеллект целесообразно использовать в строительных проектах для предотвращения перерасхода средств, руководствуясь такими факторами, как размер проекта, тип контракта, сроки проекта, квалификация руководителей главного инженера проекта (ГИП) и главного архитектора проекта (ГАП). Исторические данные, такие как запланированные даты начала и окончания, используются прогнозными моделями для представления реалистичных сроков будущих проектов [5]. Искусственный интеллект и нейронные сети помогают служащим получать удаленный доступ к реальным данным и учебным материалам, это способствует совершенствованию их навыков и приводит к сокращению времени для добавления новых данных ресурсов в проекты.

2. Проектирование объектов в трехмерной модели.

Технологии информационного моделирования (ТИМ) – пространственный процесс, основанный на 3D-модели, которая позволяет специалистам в области архитектуры, градостроительства и строительства целесообразно проектировать объекты и инженерную инфраструктуру с целью эффективного управления. При проектировании объекта в 3D-модели необходимо учитывать генпланы, строительные конструкции, статику и динамику, электрику, инженерные коммуникации и последовательность этих действий в командах [6]. Проектирование при помощи ТИМ с применением ИИ поможет снизить недочеты в проектах, так как в настоящее время существуют конфликты между различными моделями, поскольку разрабатывают их разные команды [7].

3. Снижение строительных рисков.

Строительные проекты всегда находятся в группе риска. Это касается рисков в качестве выполнения работ, рисков по срокам поставок, риски срывов производства, перерасхода затрат и т. д. Каждый большой проект имеет больший риск в процессе производства работ. Искусственный интеллект позволяет минимизировать риски за счет использования мониторинга всех ресурсов с применением показателей регрессии. ИИ определяет и распределяет риски по приоритетам.

4. Устранение проблемы нехватки рабочих.

При помощи ИИ повышается производительность строительных работ за счет эффективного планирования и распределения трудовых затрат (рабочих) и технических ресурсов (машин и механизмов) на рабочих местах. Строительные роботы, в рамках производства работ, оценивают распределение на рабочих местах рабочей силы и строительных машин, это позволяет ГИП и ГАП оценивать объективно ситуацию и реагировать незамедлительно.

С помощью ИИ строительные роботы становятся более автономными и мобильными и увеличивают эффективность работ.

Доказано в мировой практике, что 300 млрд руб. составляет экономический эффект от применения ИИ по всем отраслям народного хозяйства, соответственно, в строительстве это составляет 2,1 млрд руб. Это равно менее 1 % от общего числа затрат (рис. 2).

Казалось бы, процент мал, но учитывая непредсказуемость и сложность выполнения строительных работ можно оценить данный показатель достаточным [8].

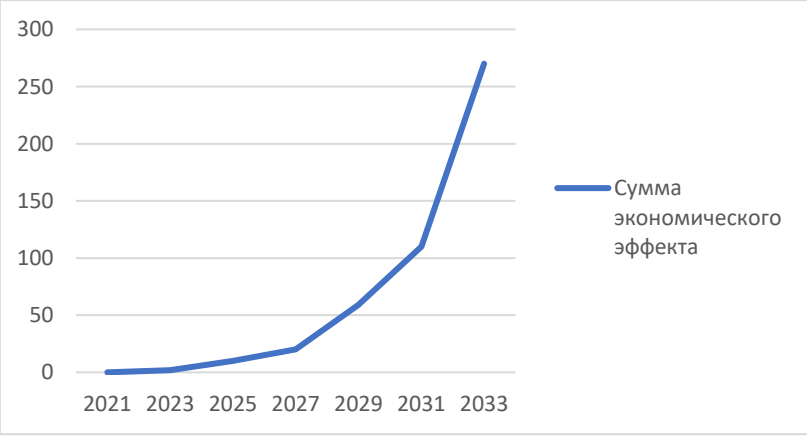


Рис. 2. Зависимость экономического эффекта применения искусственного интеллекта в строительстве в настоящее время и с учетом прогноза
Fig. 2. Dependence of the economic effect of the use of artificial intelligence in construction at the present time and taking into account the forecast

В результате статистического исследования 2019 г. компанией NcKinsey Global было установлено количество строительных компаний, использующих ИИ в строительстве и производстве строительных материалов. Это количество минимально, менее 16 %. За последние пять лет тенденция использования нейросети в строительстве возросла почти на 3 %. Тем не менее, есть ряд факторов, которые ограничивают процесс ИИ и внедрения в инвестиционно-строительную сферу [9]:

1. Неопределенность и несовместимость. Существует некая неопределенность и несовместимость систем проектирования и сбора данных. Это связано с источниками данных на единой цифровой площадке и невозможностью их интеграции для накапливания, хранения и использования различного рода информации.

2. Уникальность. Присутствует уникальность отдельно взятого строительного объекта, включая особенность характеристик проектирования, а также природно-климатических условий возведения типовых и инновационных объектов.

3. Стоимость. Высокая стоимость применения элементов робототехники и беспилотников. Можно сделать вывод, что использование искусственного интеллекта ограничивается и возможно только крупными и экономически устойчивыми стабильными строительными организациями.

Тем не менее, напрашивается следующий вывод: для эффективного использования алгоритмов искусственного интеллекта в строительстве необходимо накопление критических массивов данных по различным строительным объектам и интеграция различных информационных систем.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одной из возможностей использования ИИ для определения стоимости строительства является анализ больших объемов данных, включающих информацию о стоимости материалов, трудозатратах, оборудовании и других факторах, влияющих на затраты на строительство [10].

Применение нейросети при помощи ИИ позволяет спрогнозировать стоимость строительного объекта и выявить закономерности.

С одной стороны, в настоящий момент времени для оценки недвижимости используется машинное обучение для оценки и верификации стоимости. Почему этот вопрос решается просто в недвижимости? Во-первых, наличие большого объема доступных данных по этому вопросу. Во-вторых, недвижимость проста и понятна с точки зрения основных характеристик – площади, периметр, этажность, пространственный объем, площадь застройки и т. д.

С другой стороны, не все так просто и однозначно: определение стоимости объекта в целом с учетом всех показателей сложная задача, так как объекты многие уникальны и не похожи друг на друга.

Соответственно, стоимость нельзя оценить унифицировано и шаблонно, по аналогу. Еще одна из закономерностей заключается в том, что в открытом доступе мало информации о ходе строительства с указанием технических характеристик и реальной стоимости объекта. Такая информация сохраняется за закрытыми дверями внутри компании [11]. Еще одним критерием, усложняющим задачу, является отсутствие в открытом доступе качественной информации о строительстве объектов капитального строительства с указанием технических параметров и фактической стоимости строительства [12].

Эта информация чаще всего используется только внутри организаций. В целом, использование ИИ в определении стоимости в строительстве представляет большой потенциал для повышения эффективности и точности процесса оценки затрат.

Однако внедрение данной технологии требует дальнейших исследований и разработок, а также принятия соответствующих мер для обеспечения надежности и безопасности полученных результатов.

Жилой комплекс «Взлетка» (ЖК «Взлетка») находится на инвестиционной стадии проекта (рис. 3). Готовятся блок-секции № 2 и 3. Основные преимущества применения искусственного интеллекта для определения стоимости строительства ЖК «Взлетка».

Сокращение издержек и перерасхода средств/планирование бюджетов и сроков. На основании данных о стоимости завершенных строительных проектов, стоимости строительства блок-секции № 1 и 2 и индексов инфляции, искусственный интеллект может спрогнозировать стоимость следующего этапа выполнения работ. Это позволит Заказчику и исполнителю планировать затраты и не допустить перерасхода средств на следующем этапе строительства.

По данным анализа применение искусственного интеллекта могут обеспечить экономию средств и отклонение от сроков примерно на 10–20 %.



Рис. 3. Жилой комплекс «Взлетка», г. Иркутск
Fig. 3. Residential complex “Vzletka”, Irkutsk

В процессе строительства зачастую вносятся правки в проектную документацию. По этой причине необходимо вносить правки в сметную документацию, что приводит к повышению вероятности срыва сроков строительства.

Составление сметной документации – трудоемкий процесс, который зависит от многих факторов: экспертиза сметной документации, сметно-нормативная база, уровень цен, учет индексов инфляции, методы расчета сметной стоимости. Требуется активное включения всех заинтересованных сторон [13]. К заинтересованным лицам следует отнести: заказчика, сметчиков, поставщиков, логистов и т. д. Закономерно, что расчет сметы требует достаточно большого времени и временных затрат. Искусственный интеллект способен подобрать расценку и рассчитать смету, опираясь на шаблонную технологию выполнения работ, что позволит автоматизировать данный процесс.

На этапе строительства внести изменения без нанесения существенного вреда практически невозможно. На рис. 4 кривой 3 обозначен график наиболее эффективных усилий по разработке проекта здания – предпочтительный процесс проектирования, когда затраты на внесение изменений минимальны, а результат таких изменений наиболее значим.

В современном строительстве существует множество различных факторов, которые могут влиять на стоимость проекта, начиная от выбора материалов и до сложности проектирования.

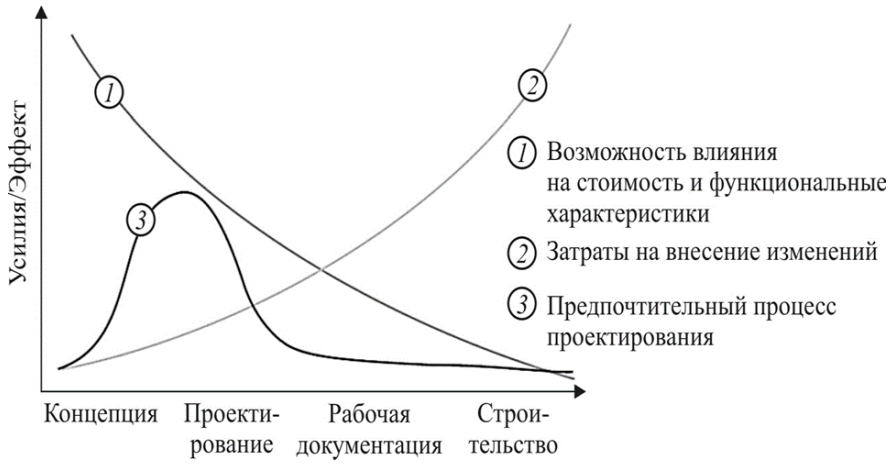


Рис. 4. Кривая наибольшей эффективности усилий при проектировании здания
Fig. 4. The curve of the greatest efficiency of efforts in building design

В настоящее время существует несколько методов определения стоимости, основанных на ИИ. Один из них − использование нейронных сетей для анализа и классификации данных.

Для определения стоимости строительства объекта с помощью нейросети, необходимо решить следующие задачи [14]:

− тщательная выкипировка показателей, оказывающих влияние на конечную стоимость объекта;

−правильный запрос в нейросеть и выборка;

− анализ и определение оптимального типа характеристики нейросети при помощи ИИ.

Схема использования нейросетевого подхода для оценки стоимости объекта недвижимости представлена на рис. 5.

Основным источником выступает проектные декларации по объектам завершенного строительства.

Именно из базы данных целесообразно формировать обучающую выборку.

Этапы определения стоимости строительства с помощью нейросети:

1. Сбор данных о завершенных строительных проектах.

2. Загрузка исходных данных в программу.

Основным источником данных выступает проектная декларация объектов завершенного строительства, которая размещена в открытом доступе, на сайте объектов.

3. Формирование первичной выборки.

Для получения более точного результата, необходимо указать данные, которые напрямую влияют на стоимость:

– общая площадь участка;
– площадь застройки;
– общая высота;
– этажность;
– площадь благоустройства и озеленения;
– высота этажа;
– площадь парковки;
– подземная парковка;
– год постройки;
– тип фундамента;
– материал облицовки фасада;
– внутренняя отделка помещений общего назначения;
– тип дома (кирпич, монолит).

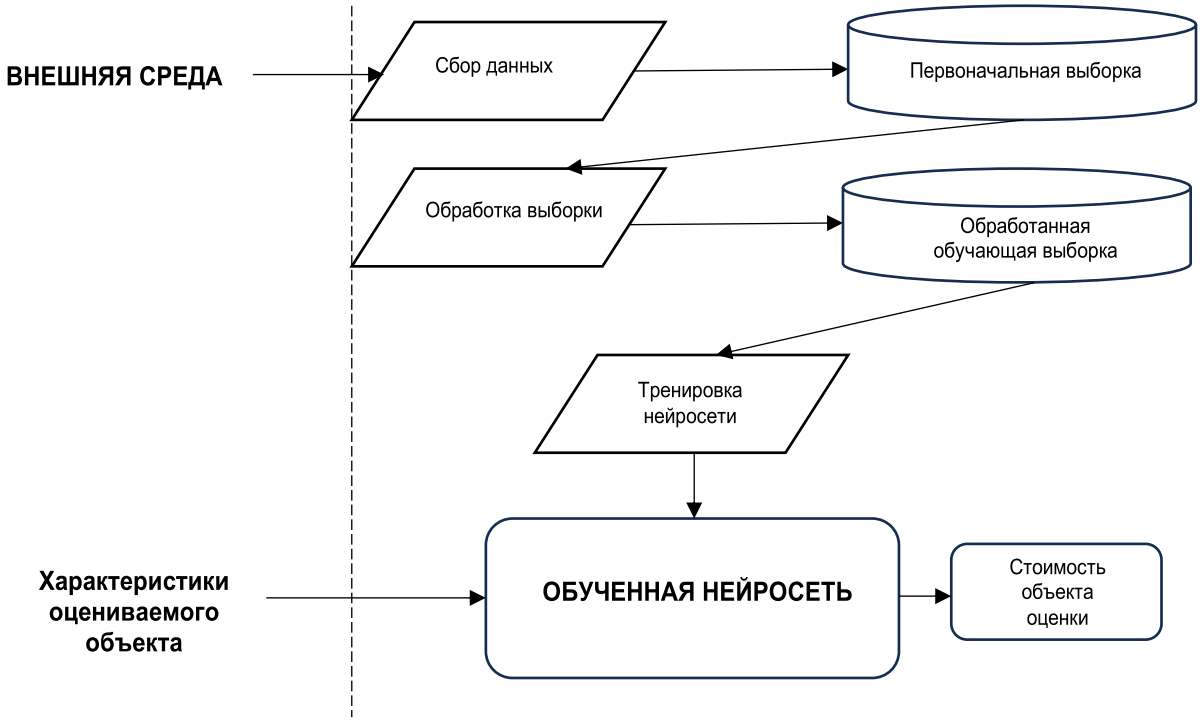


Рис. 5. Схема использования нейросетевого подхода для оценки стоимости объекта недвижимости

Fig. 5. The scheme of using a neural network approach to estimate the value of a real estate object

Так как нейронные сети работают только с цифровыми величинами, такие характеристики будут формироваться в виде цифровых значений.

Среди указанных параметров, характеризующих объект строительства, существуют как количественные, так и качественные показатели. И если значения первых заносились в

обучающее множество без изменений, то информация о каждом из последних заносилась в закодированном виде согласно таблице на примере ЖК «Взлетка».

Способ кодировки качественных параметров нейросетевой модели
Encoding method of qualitative parameters of the neural network model

Параметр	Кодировка	Расшифровка
Тип	1	Кирпичный
	2	Монолитный
	3	Другой
Срок эксплуатации	1	До 5
	2	От 5 до 10
	3	От 10 до 25
	4	От 25 и более
Паркрвка в цокольном этаже	0	Нет
	1	Есть
Лифт	0	Нет
	1	Есть
Материал облицовки фасада	1	Навесные фасады
	2	Облицовочный кирпич
	3	Другое

4. Обучение и обработка выборки.

Для обучения нейронной сети нужно сформировать множество примеров, используя статистическую информацию о существующих объектах строительства [3].

Обработка обучающей выборки предполагает удаление «экстремальных» объектов, которые имеют слишком значительное отличие от среднего. Например, объектов строительства по завышенной стоимости.

После оптимизации и обучения нейронной сети ее необходимо проверить. Средняя относительная ошибка тестирования нейронной сети, в том числе определенная по методике многократной перекрестной проверки, не должна превышать 5 %.

5. Загрузка характеристик оцениваемого объекта.

В программу необходимо добавить характеристики оцениваемого объекта для получения результата. Использование нейросетей также можно рассмотреть при интеграция календарно-сетевого планирования с современными цифровыми технологиями, такими как ТИМ-моделирование и системы мониторинга, которые усиливают их эффективность и создают синергетический эффект при управлении. ТИМ-модели позволяют визуализировать проект на высоком уровне детализации и заранее выявлять возможные конфликты между различными частями проекта. Системы мониторинга обеспечивают постоянный приток актуальных данных о фактическом состоянии работ, которые могут быть переданы в систему планирования для оперативного обновления графиков и корректировки плановых показателей [15]. При строительстве ЖК «Взлетка» в г. Иркутске использовалось календарно-сетевое планирование с цифровыми инструментами ИИ. Оно обеспечивает точное составление графиков, наглядное отображение критических участков и потенциальных узких мест, а также взаимодействие с внешними источниками информации. Все это в совокупности способствует более раннему выявлению и минимизации рисков, связанных с задержками сроков, перерасходом ресурсов и снижением качества выполняемых работ (рис. 6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка алгоритмов, основанных на машинном обучении, позволяет автоматизировать расчеты и учитывать большой объем данных, что обеспечивает более точные оценки затрат. Кроме того, искусственный интеллект способен учитывать изменения в исходных данных и анализировать связь между различными параметрами проекта, что позволяет прогнозировать затраты на будущие проекты [2]. Нейронные сети могут обрабатывать большие объемы информации и выявлять закономерности и зависимости между различными факторами, что позволяет более точно

определять стоимость строительного проекта [3]. А также использование алгоритмов генетического программирования, которые позволяют эффективно прогнозировать стоимость будущих проектов на основе анализа исторических данных.

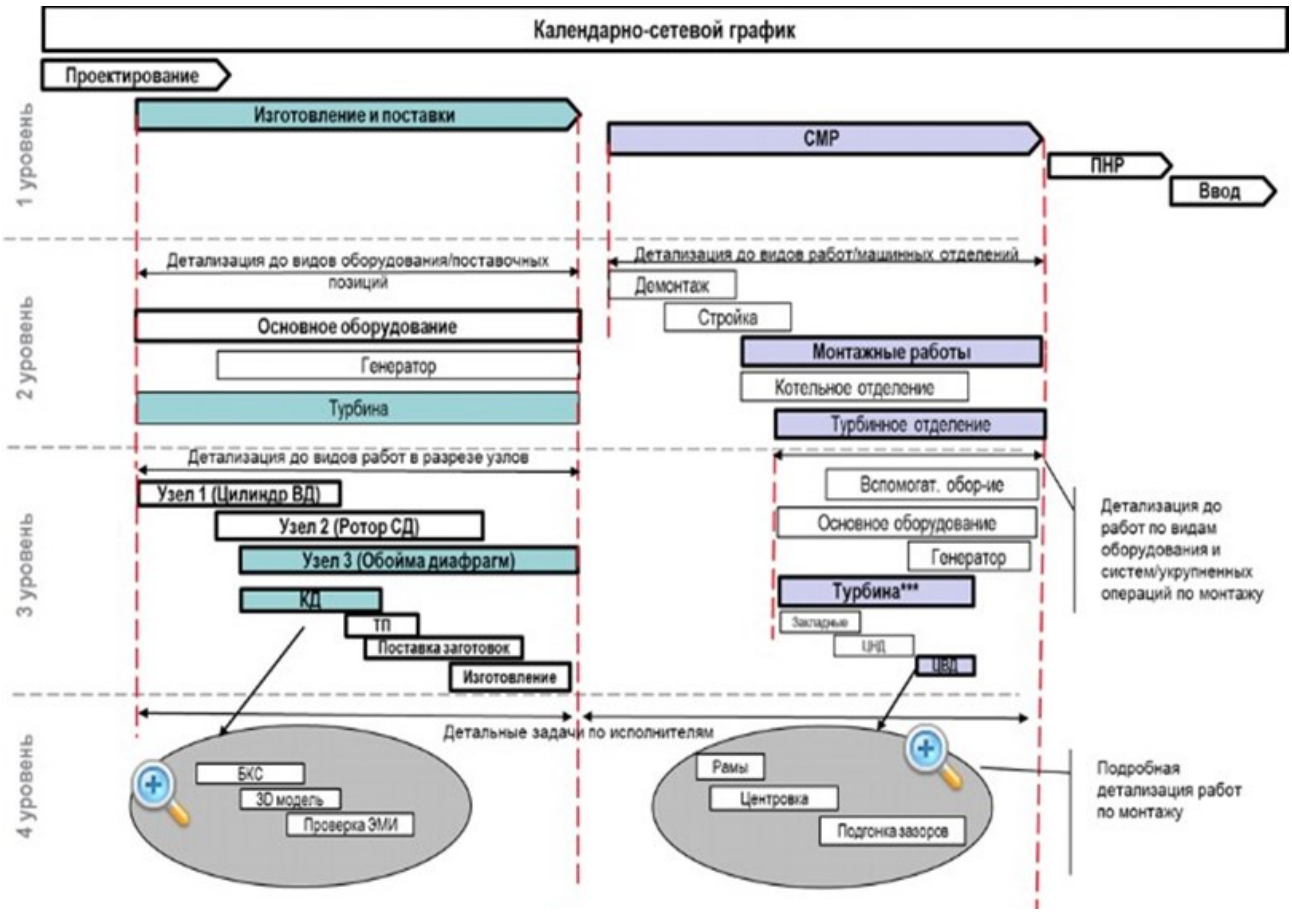


Рис. 6. Пример детализации календарно-сетевого графика на примере жилого комплекса «Взлетка»
Fig. 6. An example of detailing the calendar and network schedule using the example of the residential complex “Vzletka”

В целом, использование искусственного интеллекта в определении стоимости в строительстве представляет большой потенциал для повышения эффективности и точности процесса оценки затрат [14].

Однако внедрение данной технологии требует дальнейших исследований и разработок, а также принятия соответствующих мер для обеспечения надежности и безопасности полученных результатов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Баканов А.С., Обознов А.А. Эргономика пользовательского интерфейса: от проектирования к моделированию человеко-компьютерного взаимодействия. М.: Институт психологии РАН, 2011. 176 с.
2. Кузина О.Н. Информационное моделирование стоимости объекта строительства на каждом этапе жизненного цикла // Научно- технический вестник Поволжья. 2019. № 1. С. 107–111. EDN: YXGDVZ.
3. Ндайирагидже И., Лапидус А.А. Искусственные нейронные сети как инструмент оптимизации производственных процессов в строительстве // Технология и организация строительного производства. 2018. № 4. С. 3–6. EDN: WTKJVK.
4. Попов Д.В. Преимущества и недостатки внедрения искусственного интеллекта при реализации инвестиционных проектов строительства // Дневник науки. 2023. № 11. С. 1–8. https://doi.org/10.51691/2541-8327_2023_11_7. EDN: LJPEOP.
5. Газаров А.Р. Преимущества использования искусственного интеллекта в сфере строительства // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 4. С. 136–139.

EDN: DZQOPN.
6. Голубова О.С., Нгуен Т.Т.Н. Зарубежный опыт использования искусственной нейронной сети для прогнозирования стоимости строительства // Труды БГТУ. Серия 5: Экономика и управление. 2023. № 1. С. 22–30. https://doi.org/10.52065/2520-6877-2023-268-1-3. EDN: NDYPVF.
7. Гусарова А.А., Мокрова Н.В. Инструменты искусственного интеллекта для информационного моделирования строительных объектов // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2021. Сб. докладов Второй Национал. науч. конф. (г. Москва, 8 декабря 2021 г.). М., 2022. С. 949–956. EDN: VNJTVN.
8. Нурмяммедова О., Абдувалиева А., Ахунова М. Применение искусственного интеллекта в проектировании зданий: будущее строительного сектора // Интернаука. 2023. № 36-2. С. 37–38. EDN: HGQUTU.
9. Пиляй И.В. Применение систем искусственного интеллекта для оценки времени и стоимости строительного проекта // Строительство и архитектура. 2023. Т. 11. № 1. С. 19–19. https://doi.org/10.29039/2308-0191-2022-11-1-19-19. EDN: PJKRVF.
10. Помулев А.А. Искусственный интеллект как объект стоимостной оценки // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2022. № 6. С. 42–56. https://doi.org/10.24412/2072-4098-2022-6249-42-56. EDN: MZGKYA.
11. Рафаелян А.В., Аноприенко Д.С. Перспективы использования искусственных нейронных сетей в строительстве // VIII Междунар. студенческий строительный форум – 2023. Сб. докладов VIII Междунар. студенческого строительного форума – 2023 (г. Белгород, 28 ноября 2023 г.). Белгород, 2023. С. 151–154. EDN: CPFYUX.
12. Гранова Б.Э., Гулякин Д.В. Искусственный интеллект в строительной отрасли: настоящее состояние, перспективы развития // Наукосфера. 2023. № 4-1. С. 172–177. https://doi.org/10.5281/zenodo.7821751. EDN: ASCAWE.
13. Гулякин Д.В., Иванова С.О. Роль искусственного интеллекта в строительстве // Наукосфера. 2023. № 5-1. С. 208–211. https://doi.org/10.5281/zenodo.7962210. EDN: XJKJJM.
14. Мажанская Е.В., Пасечник А.С., Калинина Д.А., Беккер М.С., Серебренникова С.А., Полегенько А.В. Экономические факторы, влияющие на стоимость строительства // Экономические науки. 2020. № 184. С. 58–61. https://doi.org/10.14451/1.184.58. EDN: OIIVON.
15. Шишкина Д.Н. Прогноз экономического эффекта применения ИИ в строительстве: анализ и актуальность // Экономический вектор. 2024. № 1. С. 163–168. https://doi.org/10.36807/2411-7269-2024-1-36-163-168. EDN: AZHHAR.

REFERENCES

1. Bakanov A.S., Oboznov A.A. *Ergonomics of The User Interface: From Design to Modeling of Human-Computer Interaction.* Moscow: Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences, 2011. 176 p. (In Russ.).
2. Kuzina O.N. Information Modeling of Construction Object Cost at Each Stage of Lifecycle. *Scientific and Technical Volga Region Bulletin.* 2019;1:107-111. (In Russ.). EDN: YXGDVZ.
3. Ndairagidzhe Iv., Lapidus A.A. Use of Artificial Neural Networks for Optimizing Processes in Construction. *Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva.* 2018;4:3-6. EDN: WTKJVK.
4. Popov D.V. Advantages and Disadvantages of Implementing Artificial Intelligence in The Implementation of Construction Investment Projects. *Dnevnik nauki*. 2023;11:1-8. (In Russ.). https://doi.org/10.51691/2541-8327_2023_11_7. EDN: LJPEOP.
5. Gazarov A.R. Advantages of Using Artificial Intelligence in The Field of Construction. *Izvestiya Tula State University.* 2020;4:136-139. (In Russ.). EDN: DZQOPN.
6. Holubava V.S., Nhuen T.T.N. Foreign Experience in Using Artificial Neural Network for Construction Cost Prediction. *Proceedings of BSTU. Issue 5: Economics and Management.* 2023;1:22-30. (In Russ.). https://doi.org/10.52065/2520-6877-2023-268-1-3. EDN: NDYPVF.
7. Gusarova A.A., Mokrova N.V. Artificial Intelligence Tools for Information Modeling of Construction Objects. In: *Aktual'nye problemy stroitel'noi otrasli i obrazovaniya – 2021. Sbornik dokladov Vtoroi Natsional'noi nauchnoi konferentsii = Actual Problems of the Construction Industry and Education – 2021. Collection of reports of the Second National Scientific Conference.* 8 December 2021, Moscow. Moscow; 2022. P. 949–956. (In Russ.). EDN: VNJTVN.
8. Nurmammedova O., Abduwalieva A., Ahunova M. Application of Artificial Intelligence in Building Design: The Future of the Construction Sector. *Internauka.* 2023;36-2:37-38. (In Russ.). EDN: HGQUTU.
9. Pilyay I.V. Using Artificial Intelligence Systems to Estimate the Time and Cost of a Construction Project. *Construction and Architecture.* 2023;11(1):19-19. (In Russ.). https://doi.org/10.29039/2308-0191-2022-11-1-19-19. EDN: PJKRVF.
10. Pomulev A.A. Artificial Intelligence as an Object of Valuation. *Property Relations in the Russian Federation.* 2022;6:42-56. (In Russ.). https://doi.org/10.24412/2072-4098-2022-6249-42-56. EDN: MZGKYA.

11. Rafaelyan A.V., Anoprienko D.S. Prospects for The Use of Artificial Neural Networks in Construction. In: *VIII Mezhdunarodnyi studencheskii stroitel'nyi forum – 2023. Sbornik dokladov VIII Mezhdunarodnogo studencheskogo stroitel'nogo foruma – 2023 = VIII International Student Construction Forum – 2023. Collection of Reports of The VIII International Student Construction Forum – 2023.* 28 November 2023, Belgorod. Belgorod; 2023. P. 151–154. (In Russ.). EDN: CPFYUX.
12. Granova B.E., Guliakin D.V. Artificial Intelligence in Construction Industry: Present Status, Prospects for Development. *Naukosfera.* 2023;4-1:172-177. (In Russ.). https://doi.org/10.5281/zenodo.7821751. EDN: ASCAWE.
13. Gulyakin D.V., Ivanova S.O. The Role of Artificial Intelligence in Building. *Naukosfera.* 2023;5-1:208-211. (In Russ.). https://doi.org/10.5281/zenodo.7962210. EDN: XJKJJM.
14. Mazhanskaya E.V., Pasechnik A.S., Kalinina D.A., Bekker M.S., Serebrennikova S.A., Polegenko A.V. Economic Factors That Affect the Cost of Construction. *Economic Sciences.* 2020;184:58-61. (In Russ.). https://doi.org/10.14451/1.184.58. EDN: OIIVON.
15. Shishkina D.N. Forecasting The Economic Effect of Ai Application in Construction: Analysis and Relevance. *Economic Vector*. 2024;1:163-168. (In Russ.). https://doi.org/10.36807/2411-7269-2024-1-36-163-168. EDN: AZHHAR.

Информация об авторах

Шлепнёва Татьяна Олеговна,
к.э.н., доцент кафедры экспертизы и управления недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉e-mail: tanechka.pinchuk@list.ru
https://orcid.org/0009-0006-0161-2107
Author ID: 749815

Никишина Ольга Валерьевна,
старший преподаватель кафедры экспертизы и управления недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: nikishinaov@ex.istu.edu
https://orcid.org/0000-0002-8485-1229
Author ID: 504169

Дедюхина Екатерина Сергеевна,
старший преподаватель кафедры экспертизы и управления недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: ded_es@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-9731-668X
Author ID: 688810

Information about the authors

Tatiana O. Shlepneva,
Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor of the Department of Real Estate Expertise and Management,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉e-mail: tanechka.pinchuk@list.ru
https://orcid.org/0009-0006-0161-2107
Author ID: 749815

Olga V. Nikishina,
Senior teacher of the Department of Real Estate Expertise and Management,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: nikishinaov@ex.istu.edu
https://orcid.org/0000-0002-8485-1229
Author ID: 504169

Ekaterina S. Dedyukhina,
старший преподаватель кафедры экспертизы и управления недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: ded_es@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-9731-668X
Author ID: 688810

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 27.02.2025.
Одобрена после рецензирования 10.03.2025.
Принята к публикации 11.03.2025.

Information about the article

The article was submitted 27.02.2025.
Approved after reviewing 10.03.2025.
Accepted for publication 11.03.2025.

Научная статья
УДК 711.143:628.032(08)
EDN: CGXVOI
DOI: 10.21285/2227-2917-2025-2-347-358

Оптимальная организация участка объекта обращения с твердыми коммунальными отходами: градоморфологический и пространственный анализ, многофакторная оценка

Е.В. Балабенко
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Макеевка, Донецкая Народная Республика, Россия

Аннотация. Предлагается обобщенный подход к организации участка объекта обращения с твердыми коммунальными отходами. Выбор участка для формирования объекта обращения с твердыми коммунальными отходами подразумевает междисциплинарное исследование и проектирование планируемой к развитию территории. Основные методы исследования, используемые в работе: градоморфологический анализ для подбора возможных решений застройки, пространственный анализ для комбинаторности подходов и приемов в географическом контексте, метод моделирования для имитации связи функциональных подсистем, факторно-результативный метод при оценке системного подхода определения оптимальности организации территории обращения с твердыми коммунальными отходами, метод анализа иерархий для построения иерархической структуры критериев и факторов, влияющих на принятия решений. В работе выделены потребные отраслевые регламенты в области требований охраны окружающей среды, градостроительства, строительства в части определения законного статуса территорий для расположения объекта обращения с твердыми коммунальными отходами. При изучении регламентов установлены четыре группы факторов (транспортная доступность, экологическое качество, инфраструктурное обеспечение, градостроительная привлекательность), влияющих на проектирование и строительство объекта обращения с твердыми коммунальными отходами. Представлены принципы оценки каждой из групп факторов. Выведен расчет комплексного индекса ценности территории. На базе метода анализа иерархий приведена модель многофакторного анализа организации участка объекта обращения с твердыми коммунальными отходами.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, полигон, градоморфологический анализ, пространственное зондирование, многофакторная оценка, схема, организация участка

Для цитирования: Балабенко Е.В. Оптимальная организация участка объекта обращения с твердыми коммунальными отходами: градоморфологический и пространственный анализ, многофакторная оценка // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 2. С. 347–358. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-347-358. EDN: CGXVOI.

Благодарности: Статья подготовлена в рамках выполнения научных исследований по государственному заданию на тему «Комплексное обоснование размещения полигонов для хранения и развитие системы переработки твердых коммунальных отходов в Донецкой Народной Республике» (финансовое обеспечение выполнения государственного задания на оказания государственных услуг (выполнение работ) № 075-03-2023-704/1 от 24.05.2023 г.).

Original article

Optimal organization of sites for solid municipal waste management: urban morphology and spatial analysis, multi-factor evaluation

Elena V. Balabenko
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeevka, Donetsk People's Republic, Russia

© Балабенко Е.В., 2025

Abstract. A generalized approach to organization of sites for solid municipal waste management is proposed. The choice of such a site requires an interdisciplinary research approach to the design of the area to be developed. Our main research methods included: an analysis of urban morphology for finding solutions for real estate development; a spatial analysis for combinability of approaches and techniques in terms of geography; a simulation method for simulating connections between functional subsystems; a factor productivity analysis when evaluating a systematic approach to defining an optimal organization of an area for solid municipal waste management; a hierarchy analysis for constructing a hierarchical structure of criteria and factors influencing decision-making. This work highlighted required branch regulations on requirements for environment preservation, urban development, and determination of the legal status of areas for constructing solid municipal waste management facilities. When studying these regulations, four groups of factors influencing the design and construction of solid municipal waste management facility were determined, i.e., transport accessibility, ecological quality, infrastructure provision, and urban attractiveness. Principles of evaluating each of this group were presented. The integrated index of the area value was calculated. Based on the hierarchy analysis, a model of multi-factor analysis of organization of sites for solid municipal waste management is presented.

Keywords: municipal solid waste, landfill, gradomorphological analysis, spatial sensing, multifactorial assessment, scheme, site organization

For citation: Balabenko E.V. Optimal organization of sites for solid municipal waste management: urban morphology and spatial analysis, multi-factor evaluation. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2025;15(2):347-358. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-347-358. EDN: CGXVOI.

Acknowledgements: The article was prepared as part of scientific research on the state assignment on the topic “Comprehensive justification for the placement of landfills for storage and development of the municipal solid waste processing system in the Donetsk People's Republic” (financial support for the fulfillment of the state assignment for the provision of public services (completion of works) № 075-03-2023-704/1 dated 24.05.2023).

ВВЕДЕНИЕ

Управление твердыми коммунальными отходами (ТКО) можно назвать одной из наиболее часто упоминаемых областей оптимизации.

Это связано с тем, что оптимизация управления ТКО является наиболее общей в современных исследовательских приложениях, поскольку направление становится все более сложным и востребованным из-за быстрого роста городского населения, особенно в развивающихся странах. В результате жизнедеятельности населения, ведения хозяйственной деятельности учреждений, организаций и предприятий образуются многотоннажные отходы различного класса опасности, оказывающие негативное влияние на окружающую среду. Учитывая рост промышленности, отсутствие достаточного количества территорий для захоронения, увеличение транспортных расходов и затрат на рабочую силу, диверсификацию загрязнения окружающей среды и т. д., применение механизма оптимизации управления ТКО стало актуальным среди ученых и политических деятелей [1–4].

Уделяется внимание предотвращению и рециркуляции, возникающим проблемам при строительстве объектов обращения с ТКО, их воздействию на окружающую среду [5–9].

В части организации участка учеными в большей мере рассматриваются текущие места размещения или порядок эксплуатации действующих объектов отходов [10–12].

В меньшей степени – проблемные вопросы выбора места размещения объектов обращения с отходами, но при этом учеными отмечается потребность в обосновании решений организации участков объектов обращения с ТКО [13–16].

Действующая на территории России правовая база касательно планирования инфраструктуры обращения с отходами не определяет четкий состав анализируемых факторов, методик расчетов и принятия многокритериальных решений с учетом различных видов воздействий и последствий [17].

В этой связи цель исследования заключалась в изучении и систематизации норм и правил градоморфологического и пространственного анализа, определении многофакторной

оценки оптимальной организации участка объекта обращения с ТКО.

Достижение поставленной цели обусловило необходимость решения следующих задач: руководствуясь принятыми в России нормами и правилами организации участка обращения с ТКО систематизировать и обобщить их действие по проведению градоморфологического и пространственного анализа, разработать модель многофакторного анализа организации участка объекта обращения с ТКО.

МЕТОДЫ

Существующее положение оптимальной организации участка объекта обращения с ТКО требует градоморфологического и пространственного анализа территории. Выделение особенностей их размещения требует использования норм и правил при проектировании объекта обращения с ТКО.

В соответствии с целью исследования особенностей организации территории обращения с ТКО, в работе использованы основные методы выбора земельного участка:

1. Метод градоморфологического анализа – комбинаторность балансовых характеристик территории, дефиниция соответствующей градостроительному потенциалу формы функционально-планировочной организации территории.

2. Пространственный анализ – конгломерат подходов и приемов, объединяющий понятия «местоположение», «площадь», «расстояние» и «взаимодействие» в географической концепции их закономерностей или особенностей в результате процессов, действующих в пространстве.

3. Метод структурно-логического моделирования – обоснование воздействия функциональных подсистем друг на друга (население, обслуживание, промышленность, транспорт).

4. Факторно-результативный метод – при оценке системного подхода определения эффективности оптимальных характеристик организации территории обращения с ТКО.

5. Метод анализа иерархий – для построения иерархической структуры, которая включает цель, критерии, альтернативы и другие рассматриваемые факторы, влияющие на принятия решений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение зарубежных подходов к выбору и организации участка объекта обращения с ТКО и опыта экономики замкнутого цикла России, позволило разработать алгоритм из последовательных этапов принятия управленческих решений, в составе которых:

– камеральный анализ;

– градоморфологическое и пространственное зондирование;

– многофакторная оценка.

Критерии взаимосвязи приведенных характеристик в процессе формирования этапов реализации оптимальной организации участка объекта обращения с ТКО на основе использования градоморфологического и пространственного анализа и многофакторной оценки представлены на рис 1.

Все этапы оптимальной организации участка объекта обращения с ТКО имеют свою специфику и требуют активных действий со стороны заинтересованных сторон, что в конечном итоге приведет к возможности выполнения проекта.

Камеральный анализ

Задачами данного этапа являются:

1. Изучение текущего состояния действующих объектов обращения с ТКО по результатам проведения инструментальных измерений с использованием технических систем и устройств с измерительными функциями, свидетельствующими о соблюдении нормативов качества окружающей среды**,** установленных для химических, физических и биологических показателей состояния окружающей среды, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций химических веществ. Инструментарием выступает отчет о результатах мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды на территориях объектов размещения отходов и в пределах их воздействия на окружающую среду.

2. Проведение комплексного анализа существующего положения численности населения выделенной территории в разрезе возрастных группы, миграционные процессы, специфические особенности расселения (плотность населения, степень ее урбанизации). Определение законного статуса территории объекта обращения с ТКО установлено в правилах землепользования и застройки территорий[1].

3. Выполнение анализа количественных показателей образующихся отходов в разрезе источника образования по категории потребителей и их объемов.

[1]Градостроительный кодекс Российской Федерации: Кодекс РФ от 29.12.2004 № 190-ФЗ (принят Государственной Думой 22 декабря 2004 г.).

4. Определение прогнозного значения роста образующихся ТКО с учетом индекса изменения предположительной численности населения.

Данный показатель свидетельствует о воздействии изменения населения на образование ТКО, определяя потребность в организации объекта обращения с ТКО. Моделирование прогнозных значений обуславливает проведение градоморфологического и пространственного анализа выбора земельного участка с учетом имитации территориального размещения необходимых основных функциональных элементов (транспортно-логистической, складской, перерабатывающей и т. д.) [18].

Градоморфологическое и пространственное зондирование

На этапе определяются:

1. Регламенты размещения объектов обращения с ТКО определяют особенности при проектировании и строительстве. Требования к территории под полигон ТКО обозначены специальными правилами – СП 2.1.1038-01[2], СП 320.1325800.2017[3], СП 11-102-97[4], СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03[5] (табл. 1). Требования к размерам земельных участков и санитарно-защитной зоне (СЗЗ) для предприятий и сооружений по транспортировке, обезвреживанию и переработке ТКО содержатся в СП 42.13330.2016[6] (табл. 2).

Таблица 1. Регламенты организации участка объекта обращения с твердыми коммунальными отходами
Table 1. Regulations for organizing the site of the municipal solid waste management facility

Краткое описание	Норма
Размещение	За пределами городов и других населенных пунктов
Минимальное расстояние от полигона до селитебной зоны	500 м
Полигон должен располагаться на местности	С основанием из глины, тяжелых суглинков
Площадь полигона	от 30 до 300 га
Высота укладки отходов	≤ 60 м от основания
Не запрещается захоронение отходов	С III по V класс опасности

Таблица 2. Регламенты минимально доступных размеров земельных участков для размещения предприятий и сооружений по утилизации и переработке твердых коммунальных отходов
Table 2. Regulations on the minimum available sizes of land plots for the location of enterprises and facilities for the disposal and processing of municipal solid waste

Предприятия и сооружения		Размеры земельных участков на 1000 т ТКО в год, га	Размеры СЗЗ, м
Предприятия по промышленной переработке бытовых отходов мощностью тыс. т в год	до 100	0,05	300
	100 и более	0,05	500
Склады свежего компоста		0,04	500
Полигоны (кроме полигонов токсичных промышленных отходов)		0,02–0,05	500
Поля компостирования		0,5–1,0	500
Мусороперегрузочные станции		0,04	100
Поля складирования и захоронения обезвреженных остатков (по сухому веществу)		0,3	1000

[2]СП 2.1.1038-01 Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов: утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 30.05.2001 № 16.
[3]СП 320.1325800.2017 Полигоны для твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация: утверждены приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 17 ноября 2017 № 1555/пр.
[4]СП 11-102-97 Инженерно-экологические изыскания для строительства: утверждены приказом Государственного комитета РФ по строительству и жилищно-коммунальному комплексу от 10 июля 1997 № 9-1-1/69.
[5]СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов: утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 25.09.2007 № 74.
[6]СП 42.13330.2016 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений: утверждены Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 30 декабря 2016 г. № 1034/пр.

Рис. 1. Этапы реализации оптимальной организации участка объекта обращения с твердыми коммунальными отходами
Fig. 1. Stages of implementation of the optimal organization of the site of the municipal solid waste management facility

Для исследования возможных неблагоприятных влияний при обосновании выбора земельного участка объекта обращения с ТКО проводится оценка воздействия планируемого объекта на окружающую среду[7,8,9].

2. Проведение пространственного зондирования на основе карт сервиса Google Планета Земля[10] и топографических карт[11], что позволяет определить территориальное расположение действующего объекта размещения отходов (ОРО) относительно других объектов (табл. 3), измерить высоту укладки отходов и уклон прилегающей к ОРО поверхности, ориентировочный объем накопленных отходов, определить потенциальные под развитие территории.

Пространственное зондирование служит основой для формирования ГИС-слоев [19].

3. С учетом критериев первичного анализа выделяются буферные зоны, для исключения их и дальнейшего анализа (табл. 3).

Результаты обработки снимков представляются в тематических слоях геоинформационной системы с необходимой атрибутивной информацией.

4. Формирование схемы в ГИС-слоях (табл. 4).

Таблица 3. Территории, на которых введены запреты или ограничения на размещение отходов[12]
Table 3. Territories where bans or restrictions on waste disposal have been introduced[12]

Наименование территории	Хранение	Захоронение	Примечание
Территории, прилегающие к городским и сельским поселениям	запрещено	запрещено	На расстоянии не менее размера СЗЗ объекта
В границах населенных пунктов	–	запрещено	–
Водоохранные зоны	запрещено	запрещено	–
Лесопарковые курортные лечебно-оздоровительные рекреационные зоны	запрещено	запрещено	–
Водосборные площади подземных водных объектов, используемых в качестве источников водоснабжения	запрещено	запрещено	В пределах границы месторождения подземных вод
Водосборные площади подземных водных объектов и места залегания подземных вод, резервирование которых осуществлено в качестве источников питьевого водоснабжения	запрещено	запрещено	В пределах границы площадей залегания месторождения подземных вод
Водосборные площади подземных водных объектов, используемые в бальнеологических целях	–	запрещено	В пределах границы месторождения подземных вод
Водосборные площади подземных водных объектов, используемых для извлечения ценных минеральных ресурсов	–	запрещено	В пределах границы месторождения подземных вод
Первый и второй пояс зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения	запрещено	запрещено	–
Пути миграции животных, вблизи нерестилищ	запрещено	запрещено	–

[7]Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ (принят Государственной Думой 20 декабря 2001 года).
[8]Об экологической экспертизе: Федеральный закон от 23 ноября 1995 г. № 174-ФЗ (принят Государственной Думой 19 июля 1995 года).
[9]Об экологической экспертизе: Закон Донецкой Народной Республики от 16.08.2021 г. № 312-IIНС (принят Постановлением Народного Совета 06 августа 2021 года).
[10]Сервис Google Планета Земля. Режим доступа: https://earth.google.com (дата обращения: 10.09.2025).
[11]Сервис Топографические карты. Режим доступа: https://ru-ru.topographic-map.com (дата обращения: 10.09.2025).
[12]Проект Приказа Министерства природных ресурсов и экологии РФ «Об установлении требований к объектам размещения отходов (за исключением твердых бытовых отходов)»

Окончание табл. 3

Места залегания полезных ископаемых	–	запрещено	В случаях, если возникает угроза загрязнения мест залегания полезных ископаемых
Места ведения горных работ	–	запрещено	В случаях, если возникает угроза безопасности ведения горных работ
Иные места, в которых может быть создана опасность для окружающей среды, естественных экологических систем и здоровья человека	–	запрещено	–
Охранные зоны объектов по производству электрической энергии	–	запрещено	–
Полосы воздушных подходов на удалении до 30 км от контрольной точки аэродрома	запрещено	запрещено	Для объектов, способствующих привлечению и массовому скоплению птиц
Вне полос воздушных подходов - до 15 км от контрольной точки аэродрома	запрещено	запрещено	Для объектов, способствующих привлечению и массовому скоплению птиц
Внутренние морские воды и территориальное море	–	запрещено	–
Территории с выходом закарстованных и сильнотрещиноватых пород	запрещено	–	Для шламонакопителей производств свинецсодержащих, селенсодержащих и марганецсодержащих сталей

Таблица 4. ГИС-слои для пространственного анализа
Table 4. GIS layers for spatial analysis

Слой схемы	Потребная информация	Задачи слоя схемы
Действующие полигоны ТКО	Публичная кадастровая карта, сервис Google Планета Земля, сервис OpenStreetMap	Существующее положение
Землепользование	Публичная кадастровая карта, планируемая площадь полигона, согласование (межевание) границ, перспективный план расширения границ	Исключение буферных зон, предварительный выбор участка
Транспортный каркас	Публичная кадастровая карта, сервис Google Планета Земля, сервис OpenStreetMap	Существующее положение, проектные решения
Гидрография		
Рельеф	Публичная кадастровая карта, сервис Google Планета Земля, The National Geologic Map Database и топографические карты	

В итоге зондирования пространства формируется послойная схема территорий, подходящих для организации объекта обращения с ТКО с отображением зон пригодных, потенциально пригодных и непригодных для организации участка.

Многофакторная оценка

1. При изучении регламентов размещения объектов обращения с ТКО установлены четыре группы факторов, влияющих на проектирование и строительство:

– транспортная доступность;

– экологическое качество;

– инфраструктурное обеспечение;

– градостроительная привлекательность.

Принципиальный подход оценки группы факторов, следующий:

1. Оценка транспортной доступности объекта (S_i)

Градостроительная ценность территории определяется удобством расположения по отношению к населенным пунктам. Это обусловливается двумя факторами: затраты времени и ресурсов на транспортировку отходов.

Удобство расположения элементов транспортной инфраструктуры в отношении населенных пунктов и территорий развития определяется следующей формулой:

$$S_i = A \cdot D_{ij}, \quad (1)$$

где *A* – мощность (вместимость, или привлекательность) объектов или их группы, D_{ij} – оценка «удобства» связи между населенными пунктами *i* и *j*, величина которой определяется с помощью гравитационной модели хозяйственно-бытовых связей и имитирует массовый спрос на объект и функции, которые расположены в нем.

2. Оценка экологического качества объекта (экологического состояния) (E_i)

Экологическое состояние территории объекта обращения с ТКО может быть выражено агрегированным интегральным индексом действия различных экологических факторов на качество территории. Значения факторов целесообразно принимать по объектам-аналогам.

Атмосферное загрязнение

Атмосфера территории объекта обращения с ТКО имеет достаточно высокий уровень загрязнения.

По объектам аналогам можно определить среднегодовые концентрации загрязняющих веществ (ПДК – предельно-допустимая концентрация) в приземном слое воздуха (диоксида азота, оксид углерода, диоксида серы, сероводород, пыль и др.).

Средневзвешенная концентрация суммы вредных выбросов веществ в атмосферу определяется формуле:

$$Y_i = \frac{S \cdot n}{100}, \quad (2)$$

где Y_i – средневзвешенный показатель концентрации суммы вредных выбросов в атмосферу, *S* – площадь территории, *n* – соответствующие значения ПДК.

Загрязнение почв

Расчеты негативного влияния загрязнения почв (L_i) на экологическое состояние территории предлагается проводить по аналогии с расчетом Y_i (2).

Акустическое загрязнение

Источниками шума при эксплуатации полигонов являются мусоросжигательные объекты, а также транспортировка отходов.

С учетом интенсивности движения, уровни акустического загрязнения с превышением 65 дБ отмечаются в интервале от 100 до 150 м от линии дороги.

Этот фактор является постоянным. Принцип расчета средневзвешенного показателя и индекса X_i (акустическое загрязнение) аналогичен приведенному выше расчету для Y_i, и L_i (2).

Санитарно-защитные зоны

Базовым лимитирующим фактором территориального развития полигона является СЗЗ (размер зоны от 300 до 1000 м). Расчеты индекса негативного влияния СЗЗ (Q_i) на экологическое состояние территории предлагается проводить по аналогии с расчетами Y_i (2).

Комплексная оценка экологического качества территории

Расчет комплексной оценки экологического качества территории (E_i) выполняется по формуле:

$$E_i = Y_i + X_i + L_i + Q_i, \quad (3)$$

3. Оценка инфраструктурного обеспечения территории (A_i)

Согласно регламентам размещения полигоны оснащают:

– электроснабжением;

– дренажной системой (перехватывающие обводные каналы);

– очистными сооружениями.

Оценка оснащенности описывается с помощью модели потенциалов С. Стюарта, компонентами которой выступают мощность или емкость источника инженерного обеспечения и расстояние до него [20]:

$$A_i = Z \cdot D_{ij}, \quad (4)$$

где *Z* – мощность (емкость) объектов инженерного обеспечения, D_{ij} – оценка «удобства» связи j-ой единицы с объектом инженерного обеспечения.

4. Оценка градостроительной привлекательности территории (C_i)

Важным фактором ценности территории является ее рентоформирующая привлекательность.

В расчете градостроительной привлекательности территории C_i предлагается использовать метод экспертных оценок, обработку данных выполнять с учетом разницы в площадях земельно-оценочных единиц и удельного веса рентоформирующих факторов в формировании совокупного уровня ценности земель. Формула вычисления следующая:

$$C_i = \frac{O_i}{\sum O_i \cdot S_i / \sum S_i}, \quad (5)$$

где O_i – средняя балльная оценка фактора привлекательности по i-той территории, S_i – площадь i-ой земельно-оценочной единицы.

5. Расчет комплексного индекса ценности территории (I_i)

Расчет комплексного индекса ценности территории осуществляется путем взвешивания

отдельных групп факторов S_i, E_i, U_i, C_i с использованием многопродуктивной модели типа функции Кобба-Дугласа [21]:

$$I_i = S_i \cdot \alpha + E_i \cdot \beta + \mathrm{A}_i \cdot \chi + C_i \cdot \delta, \qquad (6)$$

где α, β, χ, δ – удельный вес каждой из групп факторов в формировании степени рентной ценности рассматриваемой территории, сумма которых должна быть равна 1,0.

Удельный вес определяется экспертным путем.

6. Выполнение аналитической оценки

Для каждого планируемого типа объекта обращения с ТБО (участок хранения, участок сортировки, измельчения, брикетирования и т .д., участок компостирования, участок захоронения, участок термического уничтожения) разрабатывается свой набор факторов. Многофакторный анализ по выбранным вариантам территорий размещения объектов ТКО проводится путем моделирования задачи принятия решения по методу анализа иерархий (МАИ) Томаса Л. Саати – решение проблемы путем поиска наилучшего варианта [22]. МАИ определяет структуру принятия сложных решений в виде иерархии, сравнивает и выполняет количественную оценку альтернативных вариантов решения. Приспособленная схема модели многофакторного анализа приведена на рис. 2.



Рис. 2. Схема модели многофакторного анализа организации участка объекта обращения с твердыми коммунальными отходами
Fig. 2. Scheme of the model for multifactor analysis of the organization of the site of the municipal solid waste management facility

Результатам моделирования анализа иерархии является нахождение оптимального решения организации участка объекта обращения с ТКО, учитывая интересы всех участников с учетом экологических требований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный в статье алгоритм обосновывает требования для оптимальной организации участка объекта обращения с ТКО путем градоморфологического и пространственного изучения территории, многофакторной ее оценке.

С помощью комплексной методологии, включающей многоуровневый анализ с использованием систем классификации уровней изучения, выявляются территории с минимальным ущербом для окружающей среды и оптимальным эффектом их использования.

Алгоритм пространственного анализа, прописанный в работе, представляет систему этапов и классификацию требований, создает основу для дальнейшего изучения концепции развития участка объекта обращения с ТКО. Исследование способствует созданию в будущем информационной базы данных, объединяющей решения в области землепользования, транспортной инфраструктуры, гидрографии, очертания поверхности (территории), выступает инструментарием при разработке схем обращения с отходами.

Критически важной задачей предложенного в работе алгоритма является возможность его апробации, так как именно применение на практике разработанной модели позволяет определить правильность выбранных этапов и критериев изучения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Karunarathne A. Optimal and Safe Site Selection for The Municipal Solid Waste (MSW) Management: Using GIS and Analytic Hierarchy Process (AHP) // Journal of Geography. 2017. Vol. 63-64. P. 27–48.
2. Gunaruwan T.L., Gunasekara W.N. Management of Municipal Solid Waste in Sri Lanka: A Comparative Appraisal of the Economics of Composting // NSBM Journal of Management. 2016. Vol. 2. Iss. 1. P. 27–45. https://doi.org/10.4038/nsbmjm.v2i1.19.
3. Александриди О.А. Проблема отходов в России: статистика, управление и утилизация // Управление техносферой. 2020. Т. 3. № 2. С. 281–286. https://doi.org/10.34828/UdSU.2020.28.81.001. EDN: QZGOMO.
4. Цховребов Э.С. Снижение рисков и угроз техногенной опасности, вызванной образованием опасных отходов при демонтаже объектов недвижимости // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 1 (69). С. 146–156. https://doi.org/10.61260/1998-8990-2024-1-146-156. EDN: OKFCZF.
5. Jun Dong, Yuanjun Tang, Ange Nzihou, Yong Chi, Elsa Weiss-Hortala, Mingjiang Ni et al. Comparison of Waste-To-Energy Technologies of Gasification and Incineration Using Life Cycle Assessment: Case Studies in Finland, France and China // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 203. P. 287–300. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.139.
6. Khan I., Kabir Z. Waste-To-Energy Generation Technologies and The Developing Economies: A Multi-Criteria Analysis for Sustainability Assessment // Renewable Energy. 2020. Vol. 150. P. 320–333. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.132.
7. Mayer F., Bhandari R., Gäth S. Critical Review On Life Cycle Assessment of Conventional and Innovative Waste-To-Energy Technologies // Science of The Total Environment. 2019. Vol. 672. P. 708–721. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.449.
8. Kirillova A., Zotov V., Musinova N. Engineering Solutions in The Construction of Production Facilities for Waste Processing // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 193. P. 1–5. https://doi.org/10.1051/matecconf/201819302010.
9. Голубкова У.С., Кнауб Р.В. Эколого-социальные проблемы строительства полигонов твердых коммунальных отходов // Природопользование и охрана природы: охрана памятников природы, биологического и ландшафтного разнообразия Томского Приобья и других регионов России. Материалы IX Всеросс. с междунар. участием науч.-практ. конф. (г. Томск, 21–23 апреля 2020 г.). Томск, 2020. С. 285–289. https://doi.org/10.17223/978-5-94621-954-9-2020-68. EDN: TEPFZF.
10. Ниязгулов У.Д., Гебгарт А.А., Крестинков В.Г., Ниязгулов Ф.Х. Мониторинг состояния объектов размещения отходов с использованием данных дистанционного зондирования // Геодезия и картография. 2018. Т. 79. № 11. С. 47–53. https://doi.org/10.22389/0016-7126-2018-941-11-47-53. EDN: VOELOW.
11. Лукашов С.В., Гамазин В.П., Хохлова М.В. Многоаспектность и способы решения проблемы обезвреживания твердых коммунальных отходов // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. № 7. С. 18–23. https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-7-18-23. EDN: XBLTLN.
12. Павленко В.И., Куценко С.Ю. Актуальные задачи сохранения качества природной среды селитебных территорий АЗРФ // Вестник Евразийской науки. 2020. Т. 12. № 5. С. 1–10. EDN: UKCNDL.
13. Атерекова А.В., Сиваев С.Б. Выбор участков под объекты обращения с твердыми коммунальными отходами на основе пространственного анализа и многофакторной оценки // Городские исследования и практики. 2016. Т. 1. № 1. С. 70–85. EDN: ZMVZBP.
14. Великанова Т.В. Методы и модели размещения объектов обращения с отходами в регионе // Фундаментальные исследования. 2013. № 11-6. С. 1289–1293. EDN: RUDECX.
15. Щербина Е.В. Методология анализа жизненного цикла при проектировании полигонов твердых бытовых отходов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2005. № 11 (82). С. 69–71.
16. Рогачев Н.С., Гильмундинов В.М. Проблемы учета экологической и экономической эффективности при моделировании сферы обращения с твердыми коммунальными отходами // Мир экономики и управления. 2021. Т. 21. № 1. С. 72–85. https://doi.org/10.25205/2542-0429-2021-21-1-72-85. EDN: DFNSMI.
17. Орцханов Т.А. Градостроительные аспекты, направленные на обеспечение экологической безопасности территорий размещения полигонов ТБО // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 150–153. EDN: NTLBKF.
18. Балабенко Е.В., Богак Л.Н., Оберемок Е.Н., Черныш М.А. Градостроительные аспекты выбора земельного участка для формирования объектов размещения твердых коммунальных отходов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 4. С. 726–738. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-726-738. EDN: RHBZTB.
19. Мущанов В.Ф., Балабенко Е.В., Искрин В.А. Распознавание и оценка состояния территорий размещения отходов методом дешифрирования космоснимков (на примере города Макеевки) // Вестник

Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2024. № 1. С. 53–68. https://doi.org/10.15593/2409-5125/2024.01.04. EDN: HTJJJC.
20. Stewart J.Q. Demographic Gravitation: Evidence and Application // Sociometry. Vol. 11. Iss. 1-2. P. 31–58. https://doi.org/10.2307/2785468.
21. Суворов Н.В., Ахунов Р.Р., Губарев Р.В., Дзюба Е.И., Файзуллин Ф.С. Применение производственной функции Кобба-Дугласа для анализа промышленного комплекса региона // Экономика региона. 2020. Т. 16. № 1. С. 187–200. https://doi.org/10.17059/2020-1-14. EDN: ZNLTJO.
22. Saaty R.W. The Analytic Hierarchy Process—What It Is and How It Is Used // Mathematical Modelling. 1987. Vol. 9. Iss. 3-5. P. 161–176. https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8.

REFERENCES

1. Karunarathne A. Optimal and Safe Site Selection for The Municipal Solid Waste (MSW) Management: Using GIS and Analytic Hierarchy Process (AHP). *Journal of Geography*. 2017;63-64:27-48.
2. Gunaruwan T.L., Gunasekara W.N. Management of Municipal Solid Waste in Sri Lanka: A Comparative Appraisal of the Economics of Composting. *NSBM Journal of Management*. 2016;2(1):27-45. https://doi.org/10.4038/nsbmjm.v2i1.19.
3. Alexandridi O.A. The Waste Problem in Russia: Statistics, Management and Disposal. *Management of the Technosphere.* 2020;3(2):281-286. (In Russ.). https://doi.org/10.34828/UdSU.2020.28.81.001. EDN: QZGOMO.
4. Tshovrebov E.S. Reducing The Risks and Threats of Man-Made Hazards Caused by The Formation of Hazardous Waste During the Dismantling of Real Estate. *Problems of Risk Management in The Technosphere.* 2024;1(69):146-156. (In Russ.). https://doi.org/10.61260/1998-8990-2024-1-146-156. EDN: OKFCZF.
5. Jun Dong, Yuanjun Tang, Ange Nzihou, Yong Chi, Elsa Weiss-Hortala, Mingjiang Ni et al. Comparison of Waste-To-Energy Technologies of Gasification and Incineration Using Life Cycle Assessment: Case Studies in Finland, France and China. *Journal of Cleaner Production.* 2018;203:287-300. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.139.
6. Khan I., Kabir Z. Waste-To-Energy Generation Technologies and The Developing Economies: A Multi-Criteria Analysis for Sustainability Assessment. *Renewable Energy.* 2020;150:320-333. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.132.
7. Mayer F., Bhandari R., Gäth S. Critical Review On Life Cycle Assessment of Conventional and Innovative Waste-To-Energy Technologies. *Science of The Total Environment.* 2019;672:708-721. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.449.
8. Kirillova A., Zotov V., Musinova N. Engineering Solutions in The Construction of Production Facilities for Waste Processing. *MATEC Web of Conferences.* 2018;193:1-5. https://doi.org/10.1051/matecconf/201819302010.
9. Golubkova U.S., Knaub R.V. Ecological and Social Problems of Construction Solid Municipal Waste Landfills. In: *Prirodopol'zovanie i okhrana prirody: okhrana pamyatnikov prirody, biologicheskogo i landshaftnogo raznoobraziya Tomskogo Priob'ya i drugikh regionov Rossii. Materialy IX Vserossiiskoi s mezhdunarodnym uchastiem nauchno-prakticheskoi konferentsii = Nature Management and Conservation: Protection of Natural Monuments, Biological and Landscape Diversity of the Tomsk Ob Region and Other Regions of Russia. Materials of The IX All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation.* 21–23 April 2020, Tomsk. Tomsk; 2020. p. 285–289. (In Russ.). https://doi.org/10.17223/978-5-94621-954-9-2020-68. EDN: TEPFZF.
10. Niyazgulov U.D., Gebgart A.A., Krestinkov V.G., Niyazgulov F.K. Monitoring The State of Waste Disposal Facilities Using Remote Sensing Data. *Geodesy and Cartography.* 2018;79(11):47-53. (In Russ.). https://doi.org/10.22389/0016-7126-2018-941-11-47-53. EDN: VOELOW.
11. Lukashov S.V., Gamazin V.P., Khokhlova M.V. Multidimensionality and Methods for Solving the Problem of Municipal Solid Waste Utilization. *Ecology and Industry of Russia.* 2020;24(7):18-23. (In Russ.). https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-7-18-23. EDN: XBLTLN.
12. Pavlenko V.I., Kutsenko S.Yu. Actual Goals of Conservation the Quality of the Natural Environment of the Residential Areas of the Russian Arctic. *The Eurasian Scientific Journal.* 2020;12(5):1-10. (In Russ.). EDN: UKCNDL.
13. Aterekova A.V., Sivaev S.B. Selection of Sites for Waste Management Facilities On the Basis of Spatial Analysis. *Urban Studies and Practices.* 2016;1(1):70-85. (In Russ.). EDN: ZMVZBP.
14. Velikanova T.V. Methods and Models of Accommodation of Objects of Waste Management in The Region. *Fundamental Research.* 2013;11-6:1289-1293. (In Russ.). EDN: RUDECX.
15. Shcherbina E.V. Life Cycle Analysis Methodology for The Design of Solid Waste Landfills. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka.* 2005;11(82):69-71. (In Russ.).

16. Rogachev N.S., Gilmundinov V.M. Problems of Accounting the Environmental and Economic Efficiency When Modeling the Sphere of Municipal Solid Waste Management. *World of Economics and Management.* 2021;21(1):72-85. (In Russ.). https://doi.org/10.25205/2542-0429-2021-21-1-72-85. EDN: DFNSMI.
17. Ortskanov T.A. Town-Planning and Environmental Safety of Polygons SHW Territory. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo.* 2010;3:150-153. (In Russ.). EDN: NTLBKF.
18. Balabenko E.V., Bogak L.N., Oberemok E.N., Chernysh M.A. Urban Aspects of Selecting Lands for Municipal Solid Waste Disposal Facilities. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2023;13(4):726-738. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-726-738. EDN: RHBZTB.
19. Mushchanov V.F., Balabenko E.V., Iskrin V.A. Recognition and Assessment of the State of Waste Disposal Areas by Decoding Satellite Images (Using The Example of the City of Makeyevka). *PNRPU Bulletin. Applied Ecology. Urban Development.* 2024;1:53-68. (In Russ.). https://doi.org/10.15593/2409-5125/2024.01.04. EDN: HTJJJC.
20. Stewart J.Q. Demographic Gravitation: Evidence and Application. *Sociometry.* 1948;11(1-2):31-58. https://doi.org/10.2307/2785468.
21. Suvorov N.V., Akhunov R.R., Gubarev R.V., Dzyuba E.I., Fayzullin F.S. Applying The Cobb-Douglas Production Function for Analysing the Region's Industry. *Economy of Regions.* 2020;16(1):187-200. (In Russ.). https://doi.org/10.17059/2020-1-14. EDN: ZNLTJO.
22. Saaty R.W. The Analytic Hierarchy Process—What It Is and How It Is Used. *Mathematical Modelling.* 1987;9(3-5):161-176. https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8.

Информация об авторе

Балабенко Елена Владимировна,
д.э.н., доцент, профессор кафедры менеджмента строительных организаций,
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2,
Донецкая Народная Республика,
Россия,
✉e-mail: balabenko_e@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-6024-9452
Author ID: 586094

Information about the author

Elena V. Balabenko,
Dr. Sci. (Econ.), Associate Professor,
Professor of the Department Construction Organization Management,
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2 Derzhavina St., Makeevka 286123,
Donetsk People's Republic, Russia,
✉e-mail: balabenko_e@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-6024-9452
Author ID: 586094

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 14.01.2025.
Одобрена после рецензирования 30.01.2025.
Принята к публикации 03.02.2025.

Information about the article

The article was submitted 14.01.2025.
Approved after reviewing 30.01.2025.
Accepted for publication 03.02.2025.

Научная статья
УДК 721.011
EDN: FBHPYM
DOI: 10.21285/2227-2917-2025-2-359-371

Особенности формирования туристического центра на о. Ягры в г. Северодвинске. Предпроектный анализ

А.Д. Кузнецова[1], А.Ф. Еремеева[2]✉
[1,2]Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В статье рассмотрена актуальность формирования современного туристического центра в г. Северодвинске для обеспечения устойчивого экономического роста города, развития комфортной городской среды, а также раскрытия рекреационного потенциала побережья Белого моря для местных жителей и туристов. Цель данной работы состоит в определении особенностей формирования туристического центра на территории о. Ягры, обладающей преимуществами для развития рекреационной функции. Методология исследования заключается в последовательном проведении анализа по следующим направлениям: комплексный анализ застройки о. Ягры в структуре г. Северодвинска, анализ отечественного и зарубежного опыта проектирования туристических центров, направленных на решение подобных задач, анализ существующих научных исследований по особенностям арктической архитектуры. В результате исследования определено наиболее благоприятное расположение туристического центра в прибрежной части о. Ягры, функциональная программа комплекса и принципы его формообразования с учетом размещения в природном окружении, а также условий строительства и эксплуатации объектов на территориях, относящихся к Крайнему Северу. Согласно выводам исследования, выбор функций туристического комплекса обусловлен его расположением и значимостью для города. Комплекс на о. Ягры должен быть многофункциональным и, помимо туристической, включать досуговую и культурную функции, ориентированные на жителей города. Методология исследования применима при проектировании многофункциональных туристических центров в других северных городах.

***Ключевые слова*:** Северодвинск, остров Ягры, туристический центр, комфортная среда, арктическая архитектура, прибрежная территория

***Для цитирования*:** Кузнецова А.Д., Еремеева А.Ф. Особенности формирования туристического центра на о. Ягры в г. Северодвинске. Предпроектный анализ // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 2. С. 359–371. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-359-371. EDN: FBHPYM.

Original article

Features of the formation of a tourist center on the island of Yagry in Severodvinsk. Pre-project analysis

Alena D. Kuznetsova[1], Aleksandra F. Eremeeva[2]✉
[1,2]Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia

Abstract. The article considers the relevance of the formation of a modern tourist center in Severodvinsk to ensure sustainable economic growth of the city, the development of a comfortable urban environment, as well as the disclosure of the recreational potential of the White Sea coast for local residents and tourists. The purpose of this work is to determine the features of the formation of a tourist center on the territory of Yagry Island, which has advantages for the development of recreational functions. The research methodology consists in consistently conducting an analysis in the following areas: a comprehensive analysis of the island's buildings. Research in the structure of Severodvinsk, analysis of domestic and foreign experience in designing tourist centers aimed at solving such problems, analysis of existing scientific research on the peculiarities of Arctic architecture. As a result of the study, the most favorable

© Кузнецова А.Д., Еремеева А.Ф., 2025

location of the tourist center in the coastal part of the island was determined. Yagry, the functional program of the complex and the principles of its formation, taking into account the location in the natural environment, as well as the conditions of construction and operation of facilities in the territories belonging to the Far North. According to the conclusions of the study, the choice of functions of the tourist complex is determined by its location and importance for the city. The complex on Yagry Island should be multifunctional and, in addition to tourism, include leisure and cultural functions aimed at residents of the city. The research methodology is used in the design of multifunctional tourist centers in other northern cities.

Keywords: Severodvinsk, Yagry Island, tourist center, comfortable environment, Arctic architecture, coastal area

For citation: Kuznetsova A.D., Eremeeva A.F. Features of the formation of a tourist center on the island of Yagry in Severodvinsk. Pre-project analysis. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(2):359-371. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-359-371. EDN: FBHPYM.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время требует решения задача формирования комфортной среды в малых и средних городах России с целью замедления и предотвращения оттока населения, а также привлечения туризма.

В основном малые и средние города возникли в середине XX в. на базе градообразующих предприятий и имеют статус моногорода. Их преимущество заключается в наличии сомасштабной человеку среды, развитой социальной инфраструктуры в виде детских садов и школ, однако, такие проблемы, как отсутствие современных объектов культуры, отдыха, мест приложения труда, качественных общественных пространств, слабое использование имеющихся природных ресурсов, потеря собственной идентичности, отсутствие четкого вектора развития приводят к потере кадров, миграции молодежи в большие города и сложности привлечения новых жителей.

Вышеперечисленные особенности моногородов характеризуют и г. Северодвинск – крупнейший центр судостроения на берегу Белого моря.

Совместно с городскими округами Архангельск и Новодвинск, он образует одну из 16 стратегически значимых опорных агломераций Арктической зоны России, необходимых для устойчивого социально-экономического развития макрорегиона.

Тем не менее, в последние годы численность населения имеет тенденцию к сокращению, все меньше выпускников школ хотят связать свою жизнь со своей малой родиной. В 2019 г. была утверждена стратегия развития г. Северодвинска до 2030 г., главная цель которой заключается в «…обеспечении условий для всестороннего развития граждан, повышения конкурентоспособности города, как территории комфортного проживания, на основе устойчивого экономического роста в условиях реализации национальных проектов развития».

Основные приоритетные направления развития были определены в результате анализа запросов молодежной аудитории:

– развитие человеческого капитала;

– повышение качества городской среды;

– обеспечение устойчивого экономического роста;

– обеспечение эффективности управления и развития гражданского общества [1].

Отмечена особая роль развития сферы туризма:

– модернизация и создание новых объектов туриндустрии, культурно-досуговых пространств;

– содействие развитию имеющихся и формирование новых для города видов туризма;

– популяризация объектов культурного наследия, расположенных на территории городского округа Северодвинск.

Возможно развитие несколько видов туризма: промышленного, спортивного, культурного, делового и экотуризма.

Для реализации этой программы необходимо иметь соответствующую инфраструктуру: места размещения (гостиницы, глэмпинги, апартаменты), предприятия питания, места отдыха, туристические маршруты, идентичность и узнаваемость, свой статус [2].

Нередко именно архитектурный объект становится для города знаковым. Он является частью его истории, местной культуры и традиций, имеет идентификационные характеристики в образе и материалах, становится отражением самого города [3, 4]. Именно такого объекта городу не хватает. Существующая застройка морально устарела. Городу необходим современный тип туристического центра. Остров Ягры имеет преимущества для развития

рекреационной функции, так как данная территория, в отличие от центра г. Северодвинска, обладает экологическими ресурсами: имеет прямой выход к Белому морю, здесь расположена особо охраняемая природная территория – Сосновый бор.

Цель данного исследования – определить особенности формирования современного туристического центра г. Северодвинска в прибрежном квартале на о. Ягры с включением в существующую структуру застройки новых объектов досуга и туризма для раскрытия рекреационного потенциала города, привлечения туристов и улучшения жизни местного населения.

МЕТОДЫ

Предпроектный анализ является базой для эффективного архитектурного решения будущего туристического центра. Методология исследования заключается в последовательном проведении анализа по нескольким направлениям:

1. Комплексный анализ территории о. Ягры и возможностей его развития. Включает в себя исследование особенностей расположения территории в структуре города, природно-климатических характеристик места, зонирования территории, транспортного обеспечения, морфологии застройки [5, 6]. Исследование застройки проводилось на основе исторических карт, данных действующих правил землепользования и застройки, натурного обследования территории.

2. Анализ отечественного и зарубежного опыта проектирования туристических центров, направленный на решение схожих задач. В ходе анализа были выбраны объекты, расположенные в подобных природно-климатических условиях, созданные для решения подобных градостроительных и функциональных задач, что и планирующийся комплекс на о. Ягры [7, 8]. Сравнение аналогов произведено по следующим характеристикам: градостроительная ситуация, площадь участка, площадь комплекса, основные и дополнительные функции, функциональная схема, формообразование, конструктивная схема, применяемые материалы.

3. Анализ существующих научных исследований по особенностям арктической архитектуры, предназначенной для формирования комфортного пространства пребывания человека в суровых климатических условиях, проводившихся в 1970–1980-х гг. и в настоящее время [9, 10]. В результате исследования определен ряд принципов формирования градостроительного и архитектурно-планировочного решения, которые необходимо учитывать при разработке туристических объектов острова.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ территории проектирования

Город расположен на берегу Белого моря и состоит из нескольких частей – материковой и островной. Основная застройка расположена на материковой части, путь на о. Ягры лежит мимо территории судоремонтного предприятия «Звездочка» и соединен с материком единственным мостом, расположенным у залива р. Крестовой. Остров имеет жилую застройку на юге города, на севере расположена особо охраняемая природная территория – Сосновый бор (рис. 1).

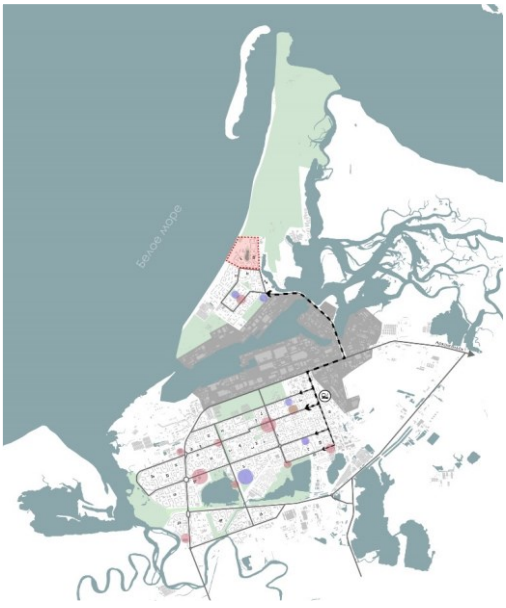


Рис. 1. Схема расположения территории проектирования в структуре г. Северодвинска
Fig. 1. The layout of the design area in the structure of Severodvinsk

Несмотря на то, что город лежит вне Полярного круга, он приравнен к районам Крайнего Севера. У рассматриваемой территории несколько климатических особенностей: территория о. Ягры подвержена агрессивным ветрам и, ввиду отсутствия характерного рельефа, является сильно продуваемой. Непосредственная близость моря влияет на температуры наружного воздуха в течение года (осенью оно отдает свое тепло, являясь «нагревателем», а весной охлаждает воздух, оттягивая приход лета). Солнечных дней в году, в среднем, 65, большая часть приходится на лето. Самый короткий день в году длится всего 3 ч. 52 мин, самый длинный – 21 ч. 32 мин (полярный день и полярная ночь отсутствуют) (рис. 2) [11]. Вместе с суровым климатом северные районы имеют яркую природную идентичность.

В данном случае ими являются холодное Белое море, широкая полоса песчаного пляжа, переходящая в дюны и сосновый бор, обилие рек и озер, белые ночи и северные сияния. Времена года на Севере выражены очень ярко и являются своеобразной идентичностью.

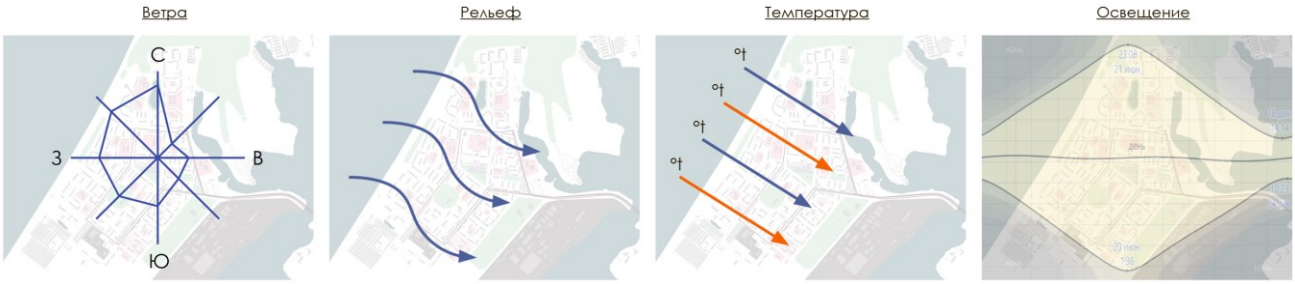


Рис. 2. Природно-климатические особенности о. Ягры
Fig. 2. Natural and climatic features of Yagry Island

Остров известен еще с конца XIV в. и в дальнейшем был связан с развитием российско-британских торгово-промышленных отношений. Из исторических объектов здесь сохранился только Николо-Корельский монастырь, который расположен на территории завода [11]. Существующая жилая застройка о. Ягры изначально формировалась для работников судоремонтного предприятия «Звездочка» и представлена панельными домами типовых серий 1960–1980-х гг. постройки. Меньшая же часть – деревянные и кирпичные дома 1950-х г. и здания, возведенные уже в XXI в. (рис. 3).



Рис. 3. Периодизация существующей жилой застройки о. Ягры
Fig. 3. Periodization of the existing residential development of Yagry Island

Можно выделить характерные черты застроенной части острова, выявленные при картографическом и натурном обследовании:

– застройка периметральная с расположением во дворах детских садов и школ;

– отсутствие рационального использования внутриквартальной территории, избыточная площадь дворов или, наоборот, их отсутствие;

– отсутствие визуальных акцентов, композиционных доминант;

– потеря идентичности;

– слабая или отсутствующая организация общественных пространств.

В ходе исследования был проведен SWOT-анализ [12] территории о. Ягры, который также характеризует обстановку в г. Северодвинске в целом (табл. 1).

В рамках SWOT-анализа были выявлены сильные характеристики территории – ее преимущества (S – strengths) и слабые – недостатки (W – weakness), возможности развития (O – opportunities) и угрозы (T – threats), которые могут осложнить достижение цели.

Существующая ситуация такова: природная составляющая острова использована слабо: нет инфраструктуры для приезжающих на море и в сосновый бор туристов, на береговую полосу выходит большой массив гаражей, отсутствуют современные здания общественного назначения, которые могли бы стать достопримечательностью и новым символом города, а также включать необходимые туристические функции.

Таблица 1. SWOT-анализ территории о. Ягры
Table 1. SWOT analysis of the territory of Jagry Island

Сильные стороны	**Возможности**
Богатый природный потенциал Выход к Белому морю Уникальная история места	Использование природного потенциала Формирование современного туристического центра Развитие малого бизнеса Создание новых рабочих мест Создание «бренда» города
Слабые стороны	**Угрозы**
Слабое использование природного потенциала Отсутствие современных мест проведения досуга Недостаток сферы услуг Слабое или отсутствующее благоустройство Отсутствие идентификации места Отсутствие зданий современной архитектуры	Отток населения и слабый туристический поток Экологическая угроза близости завода Упадок городской среды Разрушение берега моря из-за неконтролируемой антропогенной нагрузки

Комплексный анализ территории позволил определить наиболее подходящий участок для проектирования и определить градостроительное значение будущего туристического центра. Участок для туристического комплекса выбран на стыке нескольких зон: жилой застройки, соснового бора и набережной, которая продлевается до рассматриваемого участка.

Данная территория композиционно является переходом от застроенной среды к природной и завершает набережную на южной стороне острова. Таким образом, проектируемый комплекс выполняет несколько функций: завершает перспективу набережной, формирует общественное пространство на берегу Белого моря и связывает его с пространством вокруг оз. Чаячьего (рис. 4), являясь центром притяжения всего острова.

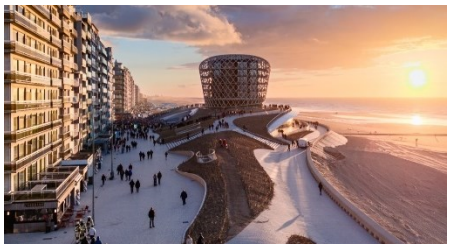
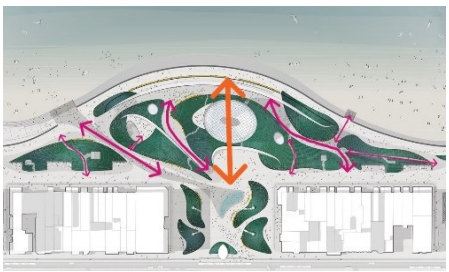
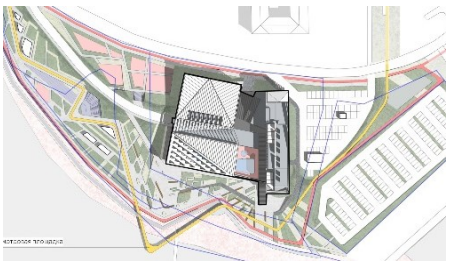
Анализ опыта проектирования

Для определения функциональной программы туристического комплекса и его формообразования рассмотрены аналоги проектирования, расположенные в природной среде: на организованной набережной на берегу водоема или в окружении природной среды, свободного пейзажного ландшафта (табл. 2). Рассмотренные комплексы относятся к многофункциональным туристическим центрам, либо в них доминирует гостиница или визит-центр [13–16]. Были изучены функциональное наполнение совместно с формообразованием комплексов, композиционная роль комплексов в генеральном плане территории, особенности конструктивных решений.

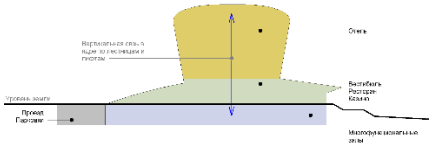
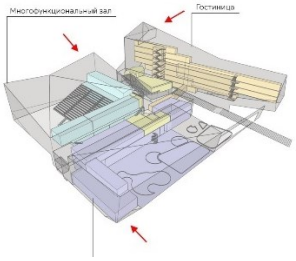


Рис. 4. Расположение территории проектирования
Fig. 4. Location of the design area

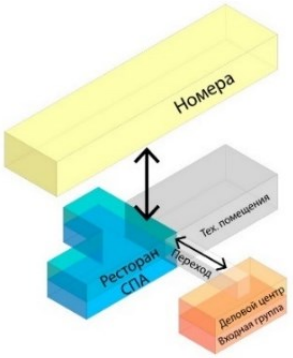
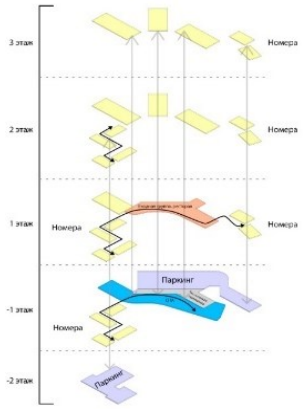
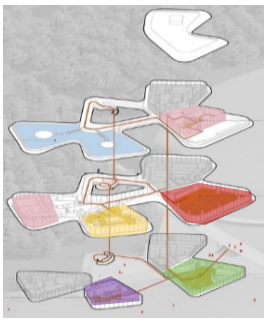
Таблица 2. Анализ опыта проектирования туристических комплексов
Table 2. Analysis of the experience of designing tourist complexes

Многофункциональный комплекс	**Silt Middelkerke** Локация: Мидделкерке, Бельгия Архитекторы: Bureau Bouwtechniek, ELVA, OZ, ZJA Год: 2024  	**Гостиница с водно-оздоровительным центром (проект)** Локация: Иркутск Архитекторы: Мезонпроект Год: 2023  
Локация	Прибрежная территория, организованная набережная	Прибрежная территория, организованная набережная
Площадь участка	4,5 га	5,02 га
Площадь	36 000 м^2	11 300 м^2
Количество номеров	60	70

Продолжение табл. 2

Функциональное наполнение	Отель Ресторан Казино Выставочное пространство Многофункциональные залы Паркинг 	Гостиница Многофункциональный зал Водный комплекс 
Формообразование	Доминанта на стилобате Вертикаль	Форма – «байкальский лед» Проход между гостиничным и общественным блоком – связь набережной и застройки
Конструктивная схема	Ядро (лестнично-лифтовой узел) + каркас	Общественные пространства – каркас; гостиница – система несущих стен
Материалы	Дерево, бетон, песок, стекло	Стекло, металл, бетон
Гостиница	**Loisium–Wine & Spa Resorts Southern Styria** Локация: Эренхаузен, Австрия Архитекторы: ArchitekturConsult Год: 2012  	**Hotel Bergresort Werfenweng** Локация: Верфенвенг, Австрия Архитекторы: ArchitekturConsult Год: 2012  
Локация	Природное окружение, пейзажный ландшафт	Природное окружение, пейзажный ландшафт
Площадь участка	1,86 га	2,68 га
Площадь	9728 м^2	6185 м^2
Количество номеров	99	120

Продолжение табл. 2

Функциональное наполнение	 Номерной фонд Ресторан СПА, Фитнес Конференц-центр	 Номерной фонд Ресторан СПА, Фитнес Паркинг
Формообразование	Протяженный единый объем номеров на стилобате Ориентирован на природу Акцент – консольно выступающий блок номеров	Блоки номеров, размещенные на общем стилобате Акцент – радиально расположенные блоки, обращенные на горы, в центре – бассейн
Конструктивная схема	Каркас	Каркас
Материалы	Дерево, бетон, стекло	Дерево, стекло
Визит-центр	**Центр гостеприимства «Кудыкина гора»** Локация: Липецкая обл. Архитекторы: Megabudka Год: 2021 	**White Crane Lake Visitor Center** Локация: Йинтань, Китай Архитекторы: Archperience Год: 2023 
Площадь	3 500 м^2	3 620 м^2
Функциональное наполнение	 Лобби Кафе Ресторан Стритфуд	 Лобби Кафе Ресторан Многофункциональный зал Конференц-центр Техническое помещение Бассейн на кровле

Окончание табл. 2

Формообразование	Здание состоит нескольких частей, каждая функция расположена в отдельном объеме на стилобате Форма напоминает русскую избу 	Бионическая форма – интеграция в окружающую среду и создание иллюзии более мелкого масштаба здания 
Конструктивная схема	Каркас	Каркас
Материалы	Обожженное дерево, стекло	Стекло, металл, «бамбуковое облако»

В результате анализа отечественного и международного опыта проектирования туристических комплексов выявлены характеристики, которые целесообразно использовать при проектировании туристического комплекса на о. Ягры:

1. Выбор функций туристического комплекса обусловлен его расположением и значимостью для города. Для этого необходимо совмещение жилой (гостиница), досуговой (ресторан и СПА-комплекс) и культурной функций (выставочные и многофункциональные залы). Так пространство будет привлекать и жителей, и туристов в разные сезоны года [17].

2. Формообразование. Подчинено окружающей среде, преимущественно природе, и выражается в использовании природных форм, ориентации номеров на видовые перспективы [18]. Композицию туристического комплекса на о. Ягры необходимо сориентировать на окружающую среду: протяженные фасады с видовыми номерами – вдоль моря и леса, таким образом, само здание будет формировать общественное пространство, перетекающее с набережной в сосновый бор и городскую застройку.

3. Материалы. Использование природных материалов (дерево разных фактур, камень и бетон), а также искусственных, подчеркивающих природное окружение («облако» из металла, навесной фасад белого цвета – эстетика льда) [19].

4. Конструкции. В большинстве случаев применяется каркасная конструктивная схема, так как она создает более широкие планировочные возможности [20].

Поскольку территория проектирования отнесена к районам Крайнего Севера, архитектура проектируемого туристического центра должна соответствовать принципам строительства и эксплуатации в арктической среде [21]. Данные принципы выявлены в результате анализа мирового практического и исследовательского опыта. Об особенностях арктической архитектуры и формировании комфортного пространства для пребывания человека в суровых климатических условиях говорится в книге [11], исследованием крипто-климатических комплексов, обеспечивающих жизнь и повседневные социальные контакты в условиях независимых от климата внешней среды, занимались [22, 23]. Современным исследованиям организации теплового зонирования многофункциональных комплексов в условиях Крайнего Севера посвящены работы [24–27].

Выявлены градостроительные принципы:

– ориентация объекта с учетом доминирующих направлений ветра в зимнее время для минимизации снегозаносов, защиты дворовой территории от агрессивных ветров;

– обеспечение комфортного перемещения по территории комплекса в неблагоприятный период года за счет внедрения галерей в структуру первого этажа комплекса, крытых переходов между корпусами;

– расположение теплых видовых павильонов на рекреационной территории комплекса.

Выявлены принципы формообразования:

– размещение блока жилых ячеек и блока общественных функций в одном здании или в разных корпусах, соединенных стилобатом или крытым переходом;

– увеличенная ширина корпуса – здания должны иметь ширину более 16 м для большей теплоемкости и соответствия требованиям энергоэффективности;

– создание буферных (промежуточных по

температуре пространств) между внешней средой и внутренними отопляемыми помещениями для большей энергоэффективности;

– применение гладкой, обтекаемой формы со стороны ветровых потоков;

– применение скатных кровель – не только отсылка к исторической архитектуре Архангельской области, но и прием для перенаправления ветреных потоков: скат отводит их вверх, защищая двор от неблагоприятного ветрового воздействия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показывает, что г. Северодвинск имеет базовые возможности для развития туризма: город расположен на берегу Белого моря с хорошими транспортно-логистическими связями с центральной Россией, является стратегически важным для развития Арктической зоны России, обладает уникальной историей, объектами культурного наследия и рекреационным потенциалом. Для дальнейшего развития туризма городу не хватает современного туристического центра.

Градостроительный анализ выявил наиболее благоприятное расположение для туристического центра на о. Ягры на берегу Белого моря рядом с особо охраняемой природной территорией Сосновый бор. Туристический центр является началом рекреационных маршрутов по территории острова.

Таким образом, создается благоприятная среда, способствующая привлечению туристов и повышению уровня жизни в городе.

В соответствии с особенностями территории проектирования рассмотрены аналоги туристических центров и гостиниц, расположенных в природной среде, из отечественного и международного опыта, что позволило определить функциональную программу объекта проектирования, принципы его формообразования, выбор конструктивной схемы и отделочных материалов. Чтобы быть востребованным круглогодично, разрабатываемый комплекс должен стать многофункциональным – помимо туристической, включать досуговую и культурную функции, ориентированные на жителей г. Северодвинска. Формообразование комплекса необходимо подчинить природе, с точки зрения раскрытия видовых характеристик на туристический центр и изнутри него, воздействия природно-климатических факторов при строительстве и эксплуатации объекта. Особо отмечены принципы проектирования в условиях Крайнего Севера, к которым относится город. Исследование представляет собой предпроектный анализ, на основе которого в дальнейшем будет сформировано архитектурное решение многофункционального туристического центра на о. Ягры. Разработанная методология применима при проектировании многофункциональных туристических центров в других городах Крайнего Севера.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бертош А.А. Арктический туризм: концептуальные черты и особенности // Труды Кольского научного центра РАН. 2019. Т. 10. № 7-17. С. 169–180. https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5252.2019.7.169-180. EDN: HIWHSM.
2. Еремеева А.Ф. Принципы формирования архитектурных решений современных центров делового туризма // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 6. С. 5–13. https://doi.org/10.23968/1999-5571-2018-15-6-5-13. EDN: VSNQFG.
3. McIntosh R.W., Goeldner C.R. Tourism: Principles, Practices, Philosophies. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons, 1990. 568 p.
4. Newsome D., Moore S.A., Dowling R.K. Natural Area Tourism: Ecology, Impacts and Management. Clevedon, Buffalo, Toronto. Sydney: Channel View Publications, 2002. 356 p.
5. Еремеева А.Ф. Особенности туристической инфраструктуры в российской Арктике. Проблематика и потенциал развития // Системные технологии. 2022. № 2. С. 68–74. https://doi.org/10.55287/22275398_2022_2_68. EDN: OWQGFD.
6. Еремеева А.Ф. Архитектурно-пространственное формирование туристических центров в Арктической зоне Российской Федерации // Креативные индустрии Арктического региона: опыт и перспективы развития (г. Мурманск, 23–26 ноября 2022 г.). Мурманск, 2023. С. 63–67. EDN: DBJPAG.
7. Van Uffelen C. 1000 x European Hotels. Switzerland: Verlaghaus Braun, 2020. 1084 p.
8. Elizarova Y.V. Tourist Complexes in Settlement System of Russian Arctic // Proceedings of The 12th International Conference On Contemporary Problems of Architecture and Construction (Saint Petersburg, 25–26 November 2020). Saint Petersburg, 2021. P. 20–25. EDN: SXOXNR.
9. Янковская Ю.С. Лебедева Е.Н., Лобанов Ю.Н. Природно-климатические и экологические аспекты в архитектурно-градостроительном проектировании и исследовании жилой среды // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 5. С. 49–58. https://doi.org/10.23968/1999-5571-2020-17-5-49-58. EDN: UAVNDR.
10. Лукин Ю.Ф. Арктический туризм: рейтинг регионов, возможности и угрозы // Арктика и Север. 2016. № 23. С. 96–123. https://doi.org/10.17238/issn2221-2698.2016.23.96. EDN: VVMSQB.

11. Sukhorukov V.D., Gladkiy Y.N., Grigor'ev A.A., Paranina A.N. History and Geography of the Russian Arctic in The Domestic Travelogue // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 625. P. 1–7. https://doi.org/10.1088/1755-1315/625/1/012010. EDN: HDYQZZ.
12. Ulker-Demirel E., Ciftci G. A Systematic Literature Review of the Theory of Planned Behavior in Tourism, Leisure and Hospitality Management Research // Journal of Hospitality and Tourism Management. 2020. Vol. 43. P. 209–2019. https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2020.04.003.
13. Сарвут Т.О. Принципы формирования среды обитания в арктическом регионе // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 2. С. 130–140. https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.2.130-140. EDN: YQCPRC.
14. Eremeeva A.F. Developing Prospects of Typology of Ecotourism Complexes // Proceedings of The 12th International Conference On Contemporary Problems of Architecture and Construction, ICCPAC 2020 (Saint Petersburg, 25–26 November 2020). Saint Petersburg, 2021. P. 26–30. EDN: OSJOTV.
15. Novikova T., Gulakova O. Assessment of Major Arctic Development Projects: New Challenges — New Responses // Transportation Research Procedia. 2021. Vol. 57. P. 370–375. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.09.063.
16. Kolotova E.V. The Use of Foreign Experience in The Tourism Development of the Northern Territories // European Geographical Studies. 2016. Vol. 10. Iss. 2. P. 63–71. https://doi.org/10.13187/egs.2016.10.63. EDN: WBOGKL.
17. Won Seok Lee, Joon-Kyu Lee, Joonho Moon Influential Attributes for The Selection of Luxury Camping: A Mixed-Logit Method // Journal of Hospitality and Tourism Management. 2019. Vol. 40. P. 88–93. https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2019.05.004.
18. Воротников А.М., Тарасов В.А., Паньшина Б.А. Глэмпинг как специфическая форма экологического туризма: к развитию в российской Арктике // Российский экономический журнал. 2019. № 5. С. 48–55. https://doi.org/10.33983/0130-9757-2019-5-48-55. EDN: FISXVA.
19. Меренков А.В., Янковская Ю.С. Северный дом. Инновационный подход к проектированию // Архитектон: известия вузов. 2022. № 4. С. 1–13. https://doi.org/10.47055/1990-4126-2022-4(80)-3. EDN: BKSXDD.
20. Меренков А.В., Янковская Ю.С. Средовые комплексы с тепловым зонированием для условий Крайнего Севера и Арктики // Жилищное строительство. 2024. № 1-2. С. 9–16. https://doi.org/10.31659/0044-4472-2024-1-2-9-16. EDN: ZHWQTK.
21. Прокопова С.М., Кравчук С.Г., Гарин Н.П. Городская среда Арктики: оптимизация и цифровизация // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2021. № 3. С. 40–44. https://doi.org/10.25628/UNIIP.2021.50.3.007. EDN: OXPIOL.
22. Яковлев А.В. Градостроительство на Крайнем Севере. Ленинград: Стройиздат, 1987. 182 с.
23. Хромов Ю.Б. Организация систем отдыха, туризма и охрана природной среды на Севере. Ленинград: Стройиздат, 1981. 184 с.
24. Петухова Е.Г. Александр Шипков. Серия: мастер советского модернизма. СПб.: TATLIN, 2021. 132 с.
25 Янковская Ю.С., Меренков А.В. Арктика. Проблемы и перспективы градостроительного развития и формирования комфортной среды // Архитектон: известия вузов. 2023. № 3. С. 1–11. https://doi.org/10.47055/19904126_2023_3(83)_18. EDN: NTSCGD.
26. Перов Ф.В. Архитектура крипто-климатических комплексов для городов Арктики // Системные технологии. 2022. № 3. С. 153–160. https://doi.org/10.55287/22275398_2022_3_153. EDN: ZDMKIZ.
27. Винницкий М.В. Подходы к организации архитектурно-градостроительной среды в суровых условиях северных регионов // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2023. № 3. С. 37–43. https://doi.org/10.25628/UNIIP.2023.58.3.006. EDN: LHQNMI.

REFERENCES

1. Bertosh A.A. Arctic Tourism: Conceptual Features and Particularities. *Transactions of the Kola Science Centre of RAS.* 2019;10(7-17):169-180. (In Russ.). https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5252.2019.7.169-180. EDN: HIWHSM.
2. Eremeeva A.F. Principles of Forming Architectural Solutionsof Modern Business Tourism Centers. *Bulletin of Civil Engineers.* 2018;6:5-13. (In Russ.). https://doi.org/10.23968/1999-5571-2018-15-6-5-13. EDN: VSNQFG.
3. McIntosh R.W., Goeldner C.R. *Tourism: Principles, Practices, Philosophies.* New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons, 1990. 568 p.
4. Newsome D., Moore S.A., Dowling R.K. *Natural Area Tourism: Ecology, Impacts and Management.* Clevedon, Buffalo, Toronto. Sydney: Channel View Publications, 2002. 356 p.
5. Eremeeva A.F. Features of The Tourist Infrastructure in The Russian Arctic. Problems and Development Potential. *System Technologies.* 2022;2:68-74. https://doi.org/10.55287/22275398_2022_2_68. EDN: OWQGFD.

6. Eremeyeva A.F. Architectural and Spatial Formation of Tourist Centers in The Arctic Zone of the Russian Federation. In: *Kreativnye industrii Arkticheskogo regiona: opyt i perspektivy razvitiya = Creative Industries of the Arctic Region: Experience and Development Prospects.* 23–26 November 2022, Murmansk. Murmansk; 2023. p. 63–67. (In Russ.). EDN: DBJPAG.
7. Van Uffelen C. *1000 x European Hotels.* Switzerland: Verlaghaus Braun, 2020. 1084 p.
8. Elizarova Y.V. Tourist Complexes in Settlement System of Russian Arctic. In: *Proceedings of The 12th International Conference On Contemporary Problems of Architecture and Construction.* 25–26 November 2020, Saint Petersburg. Saint Petersburg; 2021. p. 20–25. EDN: SXOXNR.
9. Yankovskaya Yu.S., Lebedeva E.N., Lobanov Yu.N. Natural-Climatic and Environmental Aspects in Architectural and Urban Design and Research of the Residential Environment. *Bulletin of Civil Engineers.* 2020;5:49-58. (In Russ.). https://doi.org/10.23968/1999-5571-2020-17-5-49-58. EDN: UAVNDR.
10. Lukin Yu.F. Arctic Tourism: The Rating of Regions, The Opportunities and Threats. *Arctic and North.* 2016;23:96-123. (In Russ.). https://doi.org/10.17238/issn2221-2698.2016.23.96. EDN: VVMSQB.
11. Sukhorukov V.D., Gladkiy Y.N., Grigor'ev A.A., Paranina A.N. History and Geography of the Russian Arctic in The Domestic Travelogue. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2021;625:1-7. https://doi.org/10.1088/1755-1315/625/1/012010. EDN: HDYQZZ.
12. Ulker-Demirel E., Ciftci G. A Systematic Literature Review of the Theory of Planned Behavior in Tourism, Leisure and Hospitality Management Research. *Journal of Hospitality and Tourism Management.* 2020;43:209-2019. https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2020.04.003.
13. Sarvut T.O. Principles of Habitat Formation in The Arctic Region. *Monthly Journal on Construction and Architecture.* 2018;13(2):130-140. (In Russ.). https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.2.130-140. EDN: YQCPRC.
14. Eremeeva A.F. Developing Prospects of Typology of Ecotourism Complexes. In: *Proceedings of The 12th International Conference On Contemporary Problems of Architecture and Construction, ICCPAC 2020*. 25–26 November 2020, Saint Petersburg. Saint Petersburg; 2021. p. 26–30. EDN: OSJOTV.
15. Novikova T., Gulakova O. Assessment of Major Arctic Development Projects: New Challenges – New Responses. *Transportation Research Procedia.* 2021;57:370-375. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.09.063.
16. Kolotova E.V. The Use of Foreign Experience in The Tourism Development of the Northern Territories. *European Geographical Studies.* 2016;10(2):63-71. https://doi.org/10.13187/egs.2016.10.63. EDN: WBOGKL.
17. Won Seok Lee, Joon-Kyu Lee, Joonho Moon Influential Attributes for The Selection of Luxury Camping: A Mixed-Logit Method. *Journal of Hospitality and Tourism Management.* 2019;40:88-93. https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2019.05.004.
18. Vorotnikov A.M., Tarasov B.A., Panshina V.A. Glamping as A Specific Form of Ecotourism: On Development in The Russian Arctic. *Russian Economic Journal.* 2019;5:48-55. (In Russ.). https://doi.org/10.33983/0130-9757-2019-5-48-55. EDN: FISXVA.
19. Merenkov A.V., Yankvoskaya Ju.S. The Northern House. Innovative Design Approaches. *Architecton: Proceedings of Higher Education.* 2022;4:1-13. (In Russ.). https://doi.org/10.47055/1990-4126-2022-4(80)-3. EDN: BKSXDD.
20. Merenkov A.V., Yankovskaya Yu.S. Environmental Complexes with Thermal Zoning for The Conditionsof the Far North and The Arctic. *Housing Construction.* 2024;1-2:9-16. (In Russ.). https://doi.org/10.31659/0044-4472-2024-1-2-9-16. EDN: ZHWQTK.
21. Prokopova S.M., Kravchuk S.G., Garin N.P. Arctic Urban Realm: Optimisation and Digitalisation. *Akademicheskii vestnik UralNIIproekt RAASN.* 2021;3:40-44. (In Russ.). https://doi.org/10.25628/UNIIP.2021.50.3.007. EDN: OXPIOL.
22. Yakovlev A.V. *Urban Development in The Far North.* Leningrad: Stroyizdat, 1987. 182 p. (In Russ.).
23. Khromov Yu.B. *Organization of Recreation, Tourism and Environmental Protection Systems in The North.* Leningrad: Stroyizdat, 1981. 184 p. (In Russ.).
24. Petukhova E.G. *Alexander Shipkov. Series: Master of Soviet Modernism.* Saint Petersburg: TATLIN, 2021. 132 p. (In Russ.).
25. Yankvoskaya Ju.S., Merenkov A.V. The Arctic. Issues in and Prospects for Urban Development the Formation of a Comfortable Living Environment. *Architecton: Proceedings of Higher Education.* 2023;3:1–11. (In Russ.). https://doi.org/10.47055/19904126_2023_3(83)_18. EDN: NTSCGD.
26. Perov F.V. Architecture of Crypto-Climatic Complexes for Arctic Cities. *System Technologies*. 2022;3:153-160. (In Russ.). https://doi.org/10.55287/22275398_2022_3_153. EDN: ZDMKIZ.
27. Vinnitskiy M.V. Approaches to The Organization of the Architectural and Urban Environment in The Harsh Conditions of the Northern Regions. *Akademicheskii vestnik UralNIIproekt RAASN.* 2023;3:37-43. (In Russ.). https://doi.org/10.25628/UNIIP.2023.58.3.006. EDN: LHQNMI.

Информация об авторах

Кузнецова Алена Дмитриевна,
архитектор,
Международная инжиниринговая компания
ООО «ГРИН»,
191025, г. Санкт-Петербург, Невский пр., д. 102,
корпус С, Россия,
e-mail: lemudkinaa@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0002-4893-1608

Еремеева Александра Федоровна,
кандидат архитектуры, доцент,
доцент кафедры архитектурного
проектирования,
Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-ая
Красноармейская, 4, Россия,
✉e-mail: arch.eremeeva@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-6394-703X
Author ID: 829122

Information about the authors

Alena D. Kuznetsova,
Architect,
International Engineering Company LLC “GRIN”,
102 House, Build C, Nevsky Ave.,
Saint Petersburg 191025,
Russia,
e-mail: lemudkinaa@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0002-4893-1608

Aleksandra F. Eremeeva,
Cand. of Architecture, Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Architectural Design,
Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering,
4, 2nd Krasnoarmeiskaya St., Saint Petersburg
190005, Russia,
✉e-mail: arch.eremeeva@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-6394-703X
Author ID: 829122

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.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 20.01.2025.
Одобрена после рецензирования 14.02.2025.
Принята к публикации 17.02.2025.

Information about the article

The article was submitted 20.01.2025.
Approved after reviewing 14.02.2025.
Accepted for publication 17.02.2025.

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 Exsel*, 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.

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 № 2 (53)

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 25.06.2025. Формат 60 x 90 / 8 (А4).
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 23,50.
Тираж 500 экз. Зак. 47бн. 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

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА
eLIBRARY.RU

РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ
Science Index

ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

Российская Государственная Библиотека

ВИНИТИ

EBSCO A-to-Z

CYBERLENINKA

OPEN ACCESS

BASE

doi

Crossref
Content Registration

СОЦИОНЕТ

DOAJ
DIRECTORY OF OPEN ACCESS JOURNALS

INDEX COPERNICUS
INTERNATIONAL

Google Scholar

АНРИ
Ассоциация научных редакторов и издателей

Academic Resource Index
ResearchBib

OCLC WorldCat

Jisc copac

UNIVERSITY OF OXFORD

EuroPub